

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук

« _____ » _____ 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Геоинформационный анализ влияния рельефа на состав древостоя и
возобновления кедра сибирского

наименование темы

09.04.01 Информатика и вычислительная техника
09.04.01.07 Дистанционное зондирование и ГИС-технологии в мониторинге
природных и антропогенных экосистем

Научный руководитель	_____	_____	<u>А.А. Гостева</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>С.Д. Бабой</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	_____	<u>М.Г. Ерунова</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		Е.В. Федотова
	подпись, дата		

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук

подпись

« _____ » _____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студенту Бабою С.Д.

Группа: КИ16-01-7М Направление (специальность): 09.04.01

Информатика и вычислительная техника

Тема выпускной квалификационной работы: «Геоинформационный анализ влияния рельефа на состав древостоя и возобновления кедра сибирского»

Утверждена приказом по университету № _____ от _____ 2018 г.

Руководитель ВКР: Гостева А.А., доцент кафедры Б-ГИС

Исходные данные для ВКР: статьи и научные работы взаимосвязи системы «рельеф-растительность», свободно распространяемые данные ДЗЗ и массовые данные лесоустройства (1971 г.).

Перечень разделов ВКР: Введение, теоретические сведения, создание ГИС Танзыбейского лесничества, геоинформационный анализ влияние характеристик рельефа на возобновление кедра сибирского, заключение, список сокращений, список использованных источников

Перечень графического материала: слайды презентации.

Руководитель ВКР

подпись

А.А. Гостева

Задание принял к исполнению _____

подпись

С.Д. Бабой

« ____ » _____ 2018 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Геоинформационный анализ влияния рельефа на состав древостоя и возобновления кедра сибирского» содержит 67 страниц текстового документа, 16 рисунков, 13 таблиц, 35 использованных источников.

ГИС, LANDSTAT 5, SRTM, КЕДРОВЫЕ ЛЕСА, РЕЛЬЕФ, ПОДРОСТ.

В работе анализировались массовые данные лесоустройства с характеристиками рельефа (абсолютная высота, крутизна и экспозиция)

Цель исследования является изучение влияния рельефа с использованием ГИС- технологий на состав и возобновление кедровников в горных ландшафтах бассейна р. Малый Кебеж. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- проанализировать современные исследования системы «рельеф-растительность»
- создать ГИС для проведения геоинформационного анализа связей растительного покрова с рельефом.
- на основе данных SRTM построить статистические поверхности рельефа и классифицировать данные по крутизне и экспозиции
- провести сравнительную оценку распределения по крутизне и экспозиции кедрового древостоя и подроста
- оценить влияние характеристик рельефа на состав и возобновление кедра сибирского в разных ВПК
- определить оптимальные местообитания кедровников

Анализ литературы позволяет сделать вывод, что можно оценить влияние рельефа (абсолютная высота, крутизна и экспозиция) на описательные характеристики растительного покрова (данные лесоустройства, геоботанические описания и/или данные растительного покрова полученные в результате дешифрирования ДДЗЗ).

В работе показано, что изучение распределения кедровников по рельефу допустимо с помощью средств дистанционного зондирования и данных о растительном покрове. Для этого есть технические возможности (специализированные спутники Landsat, данные SRTM) и методологические (геоинформационный анализ, лесная экология, теория ландшафтоведения А.Г. Исаченко и В.Б. Сочавы)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Теоретические сведения	9
1.1 Обзор современных исследований системы «рельеф-растительность»	9
1.2 Обзор методов исследования.....	13
1.2.1 Классификация	13
1.2.2 Построение статистических карт	14
1.2.3 Статистический анализ данных.....	16
1.3 Район исследования	19
1.4 Источники данных	21
1.5 Обзор программного обеспечения	29
1.5.1 Обзор EasyTrace	29
1.5.2 GeoDraw	30
1.5.3 ArcGIS	30
2 Создание ГИС Танзыбейского лесничества	34
2.1 Проектирование ГИС.....	34
2.2 Векторизация и привязка проекта	36
2.3 Ввод атрибутивной информации.....	39
2.4 Построение статистических поверхностей	41
2.5 Выделение границ ВПК.....	43
3 Геоинформационный анализ влияние характеристик рельефа на возобновление кедра сибирского	46
3.1 По всему бассейну р. Малый Кебеж.....	46
3.2.Распределение составов леса по экспозициям рельефа.....	49
3.2.1 Черневом ВПК.....	49
3.2.2. В горно-таежном ВПК.....	53
3.3 Распределение составов леса по крутизне рельефа.....	57
3.3.1 В Черневом ВПК.....	57
3.3.2 В горно-таежном ВПК.....	59
3.4 Анализ распределения кедрового подроста по крутизне и экспозиции	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	67

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	68
---	-----------

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наиболее эффективно и целесообразно использование географических информационных систем. ГИС – это информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, анализ, распространение и визуализацию данных, распределенных как в пространстве, так и во времени. ГИС интегрирует картографическую информацию, таблицы, данные статистики, материалы полевых исследований и прочее в единой цифровой базе географических данных. Использование ГИС – это системный подход в исследованиях. ГИС-анализ представляет собой процесс поиска географических закономерностей в данных и взаимоотношений между пространственными объектами [6]. В данной работе использовались возможности современных геоинформационных систем, позволяющие проводить сложные операции пространственного анализа, операции топологического оверлея, векторизации и построение статистических поверхностей.

Использование ГИС-технологий для сохранения разнообразия наземных экосистем является важнейшей задачей и реализуется на уровне ландшафтов, сообществ, локальном уровне местообитаний и видов [3]. Особое внимание уделяется сохранению эталонных экосистем с хрупкой устойчивостью. Такими экосистемами являются горные кедровые леса Западного Саяна.

Современный научный подход к сохранению видов, находящихся под угрозой исчезновения, предполагает выяснение потенциальных возможностей их распространения или выявление их потенциальных ареалов [22]. Применение геоинформационных систем (ГИС) в оценке определения оптимальных и уязвимых местообитаний кедровых насаждений, позволит создать рекомендации для сохранения и воспроизводства кедровых лесов.

Цель исследования является изучение влияния рельефа с использованием ГИС- технологий на состав и возобновление кедровников в горных ландшафтах

бассейна р. Малый Кебеж. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- проанализировать современные исследования системы «рельеф-растительность»
- создать ГИС для проведения геоинформационного анализа связей растительного покрова с рельефом.
- на основе данных SRTM построить статистические поверхности рельефа и классифицировать данные по крутизне и экспозиции
- провести сравнительную оценку распределения по крутизне и экспозиции кедрового древостоя и подроста
- оценить влияние характеристик рельефа на состав и возобновление кедра сибирского в разных ВПК
- определить оптимальные местообитания кедровников

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Обзор современных исследований системы «рельеф-растительность»

Моделирование рельефа, его анализ и исследования построенных моделей постепенно становятся неотъемлемой частью исследований в науках о земле, в области экологии, земельном кадастре и инженерных проектах. Компьютерная обработка пространственных данных широко используется во многих исследованиях, таких как изучение загрязненных территорий, в моделировании месторождений, так и во многих проектах, связанных с устойчивым развитием территорий, а также в экологических исследованиях.

Изучению системы «растительность-рельеф» ученые посвящают уже не одну сотню лет, так Гумбольдт обращал внимание на качественные изменения растительности в горах с высотой. Сукачев писал [14], что влияние рельефа главным образом сказывается на следующем:

- Сильно выраженный рельеф вызывает вертикальную зональность в распределении сообществ, когда по мере поднятия одни пояса растительности сменяются другими.
- При менее выраженном рельефе его влияние сказывается прежде всего в изменении экспозиции, а вместе с тем нагрева, освещения, условий влажности и движения воздуха, что, конечно, имеет место и в горах.
- Большое влияние оказывает рельеф на распределение влаги в почве.
- Наконец, очень важное значение рельеф приобретает как фактор, определяющий собою распределение питательных веществ в почве.

Климатолог Воейков отмечал различия в растительности в связи с приходом солнечной радиации в условиях горного макрорельефа, в т.ч. экспозиции и формы макросклонов [16]. Макросклоны или макроформы являются составными частями мегаформ, площади, занимаемые ими, измеряются сотнями или тысячами (реже десятками тысяч) квадратных

километров. К макроформам относятся отдельные хребты и впадины какой-либо горной страны: например, Главный Кавказский хребет, Куринская низменность [35].

В настоящее время с развитием аэрокосмических методов исследования, ДДЗЗ и ГИС, исследования перешли от регистрации натурных наблюдений к дистанционным. И все большую актуальность приобрели методы которые в основном не требуют натурных наблюдений.

Компьютерная обработка пространственных данных с использованием цифровых моделей рельефа привели к качественному изменению результатов исследования и в корне изменили подход к двум основным функциям моделирования топографического анализа и визуализации [9].

В свою очередь растительный покров и рельеф составляют видимую часть ландшафта и являются подсистемами более сложных природно-территориальных комплексов (ПТК), слагающих ландшафтную оболочку Земли. Взаимосвязь этих подсистем считается почти очевидной и широко используется в лесной экологии для их взаимной идентификации, классификации лесных ландшафтов и т.д.

Выбор подсистем «растительный покров» и «рельеф» и многочисленные попытки создания классификационных схем на этой основе, конечно же, не случайны. Во-первых, рельеф, в отличие от большинства флуктуирующих прямодействующих факторов, требующих приборных измерений, стабилен. Во-вторых, эти подсистемы могут быть описаны с помощью легко определяемых визуально качественных признаков – форма, характер склонов и т.д.

Связь между подсистемами «растительность» и «рельеф» определяется выбором анализируемых признаков, задающих характерные масштабы рассмотрения - локальный, региональный и глобальный. Для конкретных лесорастительных условий (экотопов) оказываются существенными разные характеристики рельефа. Например, на равнинах критическими для трансформации типов леса являются уклоны, для контрастных по климату склонов – экспозиция и крутизна, а для климатически более однородных –

формы склонов, определяющие почвенно-гидрологические режимы. Для горных лесов масштабный эффект выражен ярче, чем для равнин, в силу большей контрастности местообитаний и «взаимозаменяемости» отдельных факторов.

Анализ природных комплексов на региональном уровне состоит в выявлении закономерностей приуроченности к рельефу коренных и условно-коренных, а также длительно производных сообществ. Это означает, что необходимо рассматривать устойчивые сообщества, соответствующие данным лесорастительным условиям и способные в ходе восстановления после нарушений возвращаться к исходному состоянию [10].

Современные исследования системы «рельеф-растительность» отличаются разнообразностью подходов и по совокупности методов их можно условно разбить на 2 группы: 1- исследования, базируемые на собственных полевых наблюдениях и 2-я с меньшей долей участия исследователей в ходе полевых работ.

В первой группе исследователи изучают структуру и разнообразие рельефа как систему взаимосвязи с пространственной дифференциацией ландшафтов, растительности с использованием наземных исследований и данными ДДЗ. Так Мурашевой составленная карта-схема интенсивности глубины эрозии, с учетом естественных границ речных долин и водосборных процессов, позволила дифференцировать ландшафты, коррелирующие с геоморфологическим обликом, с типами рельефа; обеспечила дифференциацию почвенного покрова и фитоструктур, что подтверждает латеральное перераспределение влаги и усложняет рисунок ландшафта [11]. Используя геоботанические описания Брижатая выявила экологические особенности и характер распределения лесной растительности определяются геоморфологическими факторами в следующем порядке: высота местности, экспозиция, крутизна [2]. В свою очередь Тропина проанализировала связь почвенного покрова с рельефом [23], которая проявляется весьма специфично в разных геоморфологических условиях, при этом определяющий параметр – положение на элементе мезорельефа. В своих геоботанических исследованиях Ермаковым использовались [7] оригинальные

геоботанических описания растительности, описаний эколого-фитоценоотических профилей и др. При дальнейшей интерпретации полученных данных и результатов полевого дешифрирования космических снимков определил пространственные комбинаций растительности, распределение типов растительности, в т.ч. местообитания с различной степенью сомкнутости растительного покрова. Другой группой исследователей внимание уделено единицам высших уровней классификации растительного покрова – высотным зонам (поясам), которые в равной степени важны при классификации ландшафтов (геосистем). Было показано, что каждый ВПК занимает в климатическом пространстве свою нишу, определяя тем самым иерархию распределения рельефом абиотических показателей на растительный покров [12].

Камеральные исследования системы «рельеф-растительность» опираются на опыт предшественников и приводят к не менее интересным результатам.

Так, на анализе отношений между свойствами компонентов, через их связь с внешними переменными – мультиспектральной дистанционной информацией и рельефом определяется варьирование характеристик растительности и находит свое отражение в мультиспектральной дистанционной информации и рельефе, которые определяют его на 41%-92%. Ведущим (наиболее распространенным) процессом для растительности территории является процесс сукцессии (рост/деградации) бореальных лесов [26]. Геоморфологические аспекты исследования растительного покрова на основе лазерной альтиметрии реализуют концепцию исследования растительного покрова, опирающуюся на современную технологию цифрового моделирования рельефа. В рамках концепции растительный покров рассматривается как естественный рельефоид – внешняя оболочка земной поверхности, к которой применимы приемы морфологического описания рельефа. Установлены мезо- и микромасштабные закономерности пространственной структуры высоты растительного покрова в связи с морфометрическими переменными рельефа (высота, крутизна, экспозиция, кривизна поверхности) [27].

Гопп выявил закономерности в изменении физико-химических свойств почв и параметров растительности в зависимости от морфометрических параметров рельефа, рассчитываются по данным радиолокационных снимков SRTM [7]. Так разновидность почв, определяемая в изучаемых почвах по содержанию физической глины, коррелирует с параметрами рельефа (максимальная кривизна, высота, площадь максимального сбора).

В своих работах Синицын отмечал, что в оптимальных почвенно-климатических условиях экспозиция склонов не имеет значения [4].

В основу исследований в Верхне-Тазовском заповеднике Ямало-Ненецкого АО о влиянии рельефа на растительный покров Черниховским были использованы такие геоморфологические характеристики как среднеквадратичное отклонение абсолютных высот анализируемых участков и энтропия абсолютных высот участков [28]. Работа показала, что одновременный рост выровненности рельефа и расчлененности при преобладании в рельефе плоских и выпукло-вогнутых склонов наблюдается явное улучшение лесных местопроизрастаний в целом. Вторая тенденция – рост выровненности с уменьшением расчлененности – может наблюдаться при снижении вертикального расчленения и преобладании в рельефе вогнуто-выпуклых и плоских склонов, что приводит к снижению продуктивности – растет абсолютное значение среднего класса бонитета.

1.2 Обзор методов исследования

1.2.1 Классификация

Классификация изображений – это процесс извлечения классов информации из растрового изображения. Растр, полученный в результате классификации изображения, можно использовать для создания тематических карт. В зависимости от характера взаимодействия аналитика с компьютером в процессе классификации, различают два типа классификации изображений:

классификацию с обучением и классификацию без обучения. Создание моделей поверхностей и анализ растровых изображений. К этому классу относятся модели, построенные по регулярным и нерегулярным точкам, а также модели двух и трехмерной визуализации, например построение панорамы водосборного бассейна в аксонометрической или иной проекции. Расчет моделей производится по содержащимся в базах данных численным характеристикам. Моделироваться могут как действительный рельеф или непрерывное поле (современное или с учетом динамических изменений), так и воображаемые поверхности, построенные по одному или нескольким показателям, например поверхность углов наклона, плотность дорожной сети или водных объектов и т. п. В модуль включены разнообразные функции вычислений и анализа по грид-поверхностям [13]. Функции этой группы позволяют проводить вычисления уклонов, экспозиции склона, освещенности рельефа при регулируемых азимуте и высоте взгляда (отмывки), кривизны поверхности, а также определять зоны видимости из одной или нескольких точек наблюдения. Любая из грид-тем может быть представлена в более удобном виде с помощью возможности классификации и переклассификации грид-тем. Для растровых слоев возможны два типа классификации: равноинтервальная или по стандартному отклонению от среднего. Количество классов задается пользователем. Можно произвести переклассификацию в грид-теме или присвоение новых значений. Любая из грид-тем может визуально получить объем за счет использования значений другой грид-темы (например, рельефа) в качестве показателя, который определяет высоту ячейки. Это полезно для наглядного отображения зависимостей между данными двух тем [24].

1.2.2 Построение статистических поверхностей

Цифровое моделирование рельефа, как одна из важных моделирующих функций геоинформационных систем, включает две группы операций, первая из

которых обслуживает решение задач создания модели рельефа, вторая — ее использование. Под цифровой моделью рельефа (ЦМР) принято понимать средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей, или рельефов) в виде трехмерных данных, образующих множество высотных отметок (отметок глубин) и иных значений аппликата (координаты Z) в узлах регулярной или нерегулярной сети или совокупность записей горизонталей (изогипс, изобат) или иных изолиний [31].

Созданные на основе ЦМР статистические карты представляют собой вид графических изображений статистических данных на схематичной географической карте, характеризующих уровень или степень распространения того или иного явления на определенной территории [13].

Поверхности – это объекты, которые представляются значениями высоты Z , распределенными по области, определенной координатами X и Y . Статистические поверхности характеризуются, тем что z -величина либо непрерывна по интересующей нас области, либо может считаться непрерывной в целях моделирования и картографирования. Статистические поверхности, образованные величиной, определенной во всех точках изучаемой области, называются непрерывными.

Определение статистической поверхности как непрерывной означает, что имеется бесконечное количество точек, в каждой из которых может быть свое значение. Однако, провести измерения в бесконечном числе точек – физически невозможно, также как невозможно хранить бесконечный объем данных. Поэтому определение непрерывной поверхности с помощью бесконечного числа точек должно быть заменено моделью, которая использует существенно важные отсчеты рассматриваемой величины. Эти отсчеты представляют наиболее важные изменения поверхности как упрощенное представление.

Поскольку для непрерывных поверхностей, – топографических, экономических, демографических или климатических мы используем выборку, – нам нужна возможность изображать с приемлемой точностью наблюдаемые объекты [24].

1.2.3 Статистический анализ данных

На практике при проведении географических классификаций очень редко встречаются ситуации, когда анализируемые показатели представлены в одинаковых единицах измерения и масштабе [13]. Существуют специальные термины для обозначения соизмеримых и несоизмеримых систем показателей (моноструктурные и полиструктурные соответственно). Примером моноструктурной системы показателей является процент занятых по разным отраслям промышленности. Наиболее часто используется нормировка по заданному показателю.

В социально-экономической географии чаще всего нормирующим показателем является общая численность населения ОТЕ или площадь занимаемой ОТЕ территории. Пусть

n_i - исходный признак

N – нормирующий коэффициент.

Тогда нормировка заключается в пересчете

$$N'_i = \frac{n_i}{N} \quad (1.1)$$

Примеры нормировки по заданному показателю:

- показатель плотности населения (нормировка численности населения ОТЕ площадью, занимаемой ОТЕ);
- процент голосов, отданный на выборах за какую-либо политическую партию (нормировка числа проголосовавших за партию данной ОТЕ общим числом избирателей);
- валовой внутренний продукт страны (ВВП) на душу населения (нормировка ВВП общим числом граждан; в качестве ОТЕ выступают страны мира).

Критерий корреляции Пирсона – это метод параметрической статистики, позволяющий определить наличие или отсутствие линейной связи между двумя количественными показателями [18], а также оценить ее тесноту и статистическую значимость. Другими словами, критерий корреляции Пирсона позволяет определить, есть ли линейная связь между изменениями значений двух переменных. В статистических расчетах и выводах коэффициент корреляции обычно обозначается как r_{xy} или R_{xy} . Критерий корреляции Пирсона был разработан командой британских ученых во главе с Карлом Пирсоном (1857-1936) в 90-х годах 19-го века, для упрощения анализа ковариации двух случайных величин. Помимо Карла Пирсона над критерием корреляции Пирсона работали также Фрэнсис Эджуорт и Рафаэль Уэлдон. Критерий корреляции Пирсона позволяет определить, какова теснота (или сила) корреляционной связи между двумя показателями, измеренными в количественной шкале. При помощи дополнительных расчетов можно также определить, насколько статистически значима выявленная связь. Условия и ограничения применения критерия хи-квадрат Пирсона:

- сопоставляемые показатели должны быть измерены в количественной шкале (например, частота сердечных сокращений, температура тела, содержание лейкоцитов в 1 мл крови, систолическое артериальное давление).
- посредством критерия корреляции Пирсона можно определить лишь наличие и силу линейной взаимосвязи между величинами. Прочие характеристики связи, в том числе направление (прямая или обратная), характер изменений (прямолинейный или криволинейный), а также наличие зависимости одной переменной от другой - определяются при помощи регрессионного анализа.
- количество сопоставляемых величин должно быть равно двум. В случае анализ взаимосвязи трех и более параметров следует воспользоваться методом факторного анализа.

- критерий корреляции Пирсона является параметрическим, в связи с чем условием его применения служит нормальное распределение сопоставляемых переменных. В случае необходимости корреляционного анализа показателей, распределение которых отличается от нормального, в том числе измеренных в порядковой шкале, следует использовать коэффициент ранговой корреляции Спирмена.
- следует четко различать понятия зависимости и корреляции. Зависимость величин обуславливает наличие корреляционной связи между ними, но не наоборот.

Расчет коэффициента корреляции Пирсона производится по следующей формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum (d_x \times d_y)}{\sqrt{(\sum d_x^2 \times \sum d_y^2)}} \quad (1.2)$$

Значения коэффициента корреляции Пирсона интерпретируются исходя из его абсолютных значений. Возможные значения коэффициента корреляции варьируют от 0 до ± 1 . Чем больше абсолютное значение r_{xy} – тем выше теснота связи между двумя величинами. $r_{xy} = 0$ говорит о полном отсутствии связи. $r_{xy} = 1$ – свидетельствует о наличии абсолютной (функциональной) связи. Если значение критерия корреляции Пирсона оказалось больше 1 или меньше -1 – в расчетах допущена ошибка. Для оценки тесноты, или силы, корреляционной связи обычно используют общепринятые критерии, согласно которым абсолютные значения $r_{xy} < 0.3$ свидетельствуют о *слабой* связи, значения r_{xy} от 0.3 до 0.7 – о связи *средней* тесноты, значения $r_{xy} > 0.7$ – о *сильной* связи. Оценка *статистической значимости* коэффициента корреляции r_{xy} осуществляется при помощи t-критерия, рассчитываемого по следующей формуле:

$$t_r = \frac{r_{xy} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}} \quad (1.3)$$

Полученное значение t_r сравнивается с критическим значением при определенном уровне значимости и числе степеней свободы $n-2$. Если t_r превышает $t_{\text{крит}}$, то делается вывод о статистической значимости выявленной корреляционной связи.

1.3 Район исследования

Объектом исследования служит бассейн реки Малый Кебеж, Танзыбейского участкового лесничества. Который располагается на юге Красноярского края (рисунок 1). Район исследования находится на северном макросклоне Западного Саяна и на юге граничит с природным парком «Ергаки».



Рисунок 1 – схема расположения бассейна р. М. Кебеж

По лесорастительному районированию территория Танзыбейского лесничества принадлежит к Северной Алтайско-Саянской лесорастительной провинции, Джебашско-Амыльскому округу [15] и характеризуется всеми чертами, присущими барьерно-дождевым ландшафтам гор Южной Сибири [8,17,19]. Подробная характеристика природных особенностей наветренного склона Западного Саяна опубликована, в связи с чем следует указать лишь

основные особенности ландшафтной структуры территории. Наветренный склон Западного Саяна в этой его части представлен северным макросклоном Кулумысского и восточными отрогами Кедранского хребтов, сложенных преимущественно хлорито-серицитовыми сланцами с редкими выходами на поверхность гранитных и сиенитовых интрузий протерозоя. Рельеф преимущественно среднегорный, резко расчлененный, крутосклонный; глубокий тектонический разлом очень резко, в виде линиямента, хорошо заметного на картах среднего масштаба, отделяет среднегорье от предгорного прогиба. Последний на данном участке выражен в виде плоской и широкой Танзыбейской котловины, заполненной делювиальными отложениями, принесенными со склонов, а глубже – лессовидными суглинками и глинами озерного происхождения. Абсолютные высоты на севере у подножия западно-саянских хребтов – 350 м, а в высокогорье – 1600–1800 м. При этом верхняя граница лесного пояса имеет абс. высоту всего 1350–1400 м, граница субальпийских редколесий и лугов – около 1600 м, выше которых идут заросли ерников и горные кустарничково-моховые тундры с фрагментами альпийских лугов. Спектр высотно-поясных комплексов (ВПК): горно-черневой, горно-таежный темнохвойный избыточно-влажный, подгольцово-субальпийский резко избыточно-влажный типичен для наиболее влажного (пергумидного) биоклиматического сектора Алтае-Саянской горной области, с годовыми суммами осадков в среднегорье 900–1300 мм (до 1550 мм). Барьерная роль среднегорной части хребта Кулумыс сказывается в том, что именно здесь на высоте около 1100 м зафиксирована максимальная годовая сумма осадков 1550 мм (метеопост «Кулумыс»), тогда как в субальпийском редколесье – ст. Оленья Речка, на высоте 1404 м выпадает ежегодно в среднем 1515 мм осадков, а сумма активных температур (выше 10 °C) составляет всего около 700 градусов [16].

1.4 Источники данных

Для решения поставленных задач были использованы следующие данные:

- данные о рельефе местности
- космические снимки типа Landsat
- данные лесоустройства.

Данные о рельефе местности (SRTM) – радарная топографическая съемка большей части территории земного шара, за исключением самых северных, самых южных широт, а также океанов, с помощью специальной радарной системы [29]. Съемка проводилась радиолокационными сенсорами SIR-C и X-SAR и покрыла всю поверхность земли между 60° ю.ш. и 60° с.ш. Глобальная цифровая модель высот Shuttle Radar Topography Mission (далее –SRTM), находящаяся в открытом доступе с 2003 года, — общедоступный набор геоданных, активно применяющийся в прикладных исследованиях различной направленности. Ее популярность обуславливается простотой получения, практически глобальным охватом и соответствием запросам среднемасштабного картографирования (рисунок 2). По разным оценкам, детальность рельефа, представленного данными SRTM, в целом соответствует таковой на топографических картах масштабов 1:100 000 — 1:50 000. Четвертое поколение данных SRTM прошло несколько стадий обработки, позволивших повысить исходное качество.

Основной целью этих улучшений было заполнение пробелов, характерных для территорий со сложным рельефом, поверхностей занятых водными объектами и прочих типов местностей, плохо поддающихся радарной съемке (например, пустынь). Для этого применялись несколько интерполяционных алгоритмов, а в роли вспомогательных источников использовались локальные и национальные ЦМР более высокого разрешения. Формат предоставляемых данных: данные разделены согласно 1-градусной географической сетки. Пространственное разрешение: 1 пиксель - 1 угловая секунда или 30 на 30 метров. Тип данных – растровая модель.

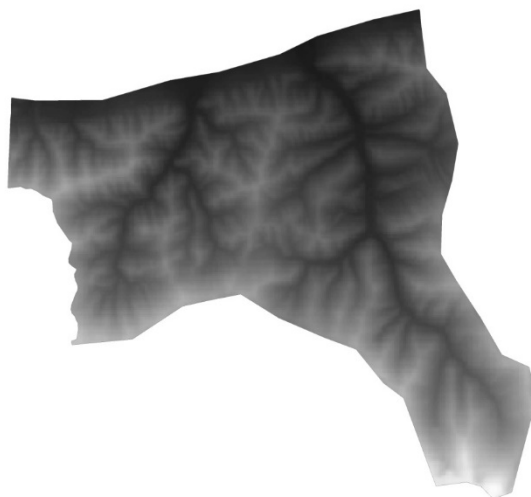


Рисунок 2 – Фрагмент данных SRTM

Актуальность данных - съемка проводилась в 2000-2003 годах и актуализация для исследуемой территории не требуется, т.к. за последние 20 лет на этой территории кардинальные изменения в рельефе местности не наблюдались.

Используемые данные: растровая модель рельефа в каждом пикселе содержит данные о характеристиках рельефа, такие как: абсолютная высота, экспозиция, и др. Используя программные пакеты ГИС можно создавать тематические карты с различными характеристиками рельефа.

Количественная характеристика данных (размер) – 350 мб. По данным SRTM средствами ArcMap построены векторные изолинии рельефа, которые вместе с имеющимися точками высот добавлены в TIN модель. По построенной TIN модели рельефа инструментами пространственного анализа ArcGIS Spatial Analyst производилось вычисление уклонов рельефа, экспозиций и высот над уровнем моря.

Космоснимки Landsat – свободно распространяемые данные, предоставляемые американской геологической службой [30]. Космические аппараты типа Landsat предоставляют космическую съемку с 1972. Landsat-5 — спутник ДЗЗ геологической службы США USGS. Был запущен 1 марта 1984 года

в рамках программы Landsat. В октябре 2007 года эксплуатация спутника была приостановлена на 4 месяца из-за выхода из строя одной из двух аккумуляторных батарей. В марте 2008 года возобновлена эксплуатация спутника с дополнительными ограничениями, при этом время существования спутника на орбите составило 24 года. Представляет полную копию спутника Landsat-4, использует такие же инструменты — Thematic Mapper (TM) и Multi-Spectral Scanner (MSS). Высота орбиты 705 км, орбита приполярная, солнечно-синхронная. Наклонение 98,2 градуса. Обзор всей поверхности планеты занимает 16 суток. Съемка представлена в формате geotif, размер кадра составляет 100 на 100 км. Пространственное разрешение – мультиспектральные каналы – 30 м., панхроматический канал – 10 м. Тип данных – растровая модель. Используя программные пакеты ГИС создается синтезированное многоканальное изображение поверхности земли в псевдоестественных цветах. Данные космосъемки нужны для привязки к географическим координатам оцифрованного плана лесонасаждений. Количественная характеристика данных (размер) – 835 мб.

Данные лесоустройства – это хозяйственная информация о характеристиках лесного покрова, получаемая при периодических обследованиях лесов.

Формат предоставляемых данных: бумажный (рисунок 3).

Актуальность – для исследуемой территории используются данные лесоустройства 1970 г.

Используемые данные: лесоустроительные данные содержат выделенную информацию таксационных показателей о лесном покрове и в данной работе они были оцифрованы в электронный вид в качестве атрибутивных данных в виде таблицы размером 35 столбцов и 6389 строк. Таксация леса – это учёт леса, его всесторонняя материальная оценка и составление технической характеристики (таксационного описания и плана) насаждений, определение их возраста, запаса (количества) древесины, прироста

и объёма отдельных деревьев и их частей. Объект учёта в лесном хозяйстве – это обширные лесные массивы, разделяемые на участки.

The image shows two pages of a forest inventory form, labeled '391' and 'Приложение 22'. The form is divided into several sections for recording data about forest plots.

Plot 30:

- Section 1 (Plot Characteristics):** Includes plot number (30), area (5), and a detailed description of the plot's location and characteristics.
- Section 2 (Tree Data):** A table with columns for tree species, diameter (d), height (h), and volume (V). It lists various tree species like 'Белая ель' (White Pine), 'Сосна обыкновенная' (Common Pine), etc., with their respective measurements.
- Section 3 (Summary):** A table summarizing the total volume and other key metrics for the plot.

Plot 31:

- Section 1 (Plot Characteristics):** Includes plot number (31), area (25), and a detailed description of the plot's location and characteristics.
- Section 2 (Tree Data):** A table with columns for tree species, diameter (d), height (h), and volume (V). It lists various tree species like 'Белая ель' (White Pine), 'Сосна обыкновенная' (Common Pine), etc., with their respective measurements.
- Section 3 (Summary):** A table summarizing the total volume and other key metrics for the plot.

Рисунок 3 – Фотография первоисточника таксационных описаний

Наземная таксация леса основана на перечёте деревьев, определении их таксационных показателей с помощью инструментов и приборов или на визуально-глазомерном обследовании лесов. Чаще пользуются комбинированным методом лесной таксации. При таксации множества деревьев их подразделяют на части, имеющие разное применение в хозяйстве. Для определения объёмов деревьев и их частей применяют специальные таблицы.

Таксация леса проводится периодически при лесоустройстве и при отводе лесосек в рубку. Материалы лесной таксации служат основой для инвентаризации леса, составления проектов организации и ведения лесного хозяйства.

В задачи лесной таксации входят совершенствование техники и методов измерений, изучение и разработка способов определения объёмов деревьев, заготовленной лесной продукции, запасов отдельных насаждений и лесных массивов, количества и качества, оценка деревьев и их совокупностей, образующих насаждения. Основные таксационные показатели будут рассмотрены ниже.

Для выражения состава насаждения применяют специальные обозначения, например 10Д, 7ЕЗС. Это значит, что первое насаждение чистое дубовое, второе – елово-сосновое, в котором семь частей приходятся на ель и три части – на сосну. Для практических целей состав насаждений определяется глазомерно или при помощи специальных измерений и вычислений. Порода, преобладающая в составе смешанного насаждения, называется господствующей, остальные – подчиненными.

Количество древесных растений (молодняка, взрослых деревьев) на одном гектаре определяет густоту насаждения. Она колеблется от десятков и сотен тысяч штук (в молодняках) до нескольких сотен и даже десятков (в возрасте спелости), в результате постепенного отпада деревьев путем естественного изреживания насаждения, т. е. уменьшения количества деревьев вследствие их дифференциации по росту и развитию.

Полнота насаждений – степень заполнения лесной площади деревьями. Определяется глазомерно и по специальным таблицам. При глазомерном определении полноты придержкой служит степень сомкнутости крон. При полном смыкании полога насаждения, когда кроны деревьев соприкасаются, не оставляя просветов, полнота равна единице (1,0). Если проекции крон занимают, например, половину территории под лесом, а другую составляют просветы, то полнота будет равна 0,5.

Более точно полнота определяется по сумме площадей поперечных сечений деревьев на 1 га. При этом за полноту 1,0 принимается сумма площадей поперечных сечений деревьев нормального (полного) насаждения. Для определения полноты данного насаждения (или его яруса) следует сумму площадей сечений составляющих его деревьев разделить на сумму площадей сечений нормального насаждения для соответствующей породы, возраста и бонитета. Последняя берется из стандартной таблицы сумм площадей сечений и запасов насаждений при полноте 1,0 или из местных таблиц хода роста. При полноте 1,0-0,9 насаждения считаются высоко-полнотными; 0,8-0,7 – среднеполнотными; 0,6-0,5 – малополнотными; 0,4-0,3 – низкополнотными.

Полноты 0,2-0,1 насаждения не образуют. Лесные площади с деревьями, составляющими такие полноты, относятся к рединам.

По возрасту насаждения подразделяются на одновозрастные и разновозрастные. Одновозрастные бывают действительно одновозрастными, когда насаждения состоят из деревьев одинакового возраста и условно одновозрастными, когда деревья отличаются по возрасту в пределах одного класса возраста. Разновозрастными считаются насаждения, состоящие из деревьев, отличающихся по возрасту более чем на один класс возраста. Классом возраста называется число лет, в пределах которого лес признается хозяйственно однородным. Для мягколиственных древесных пород (березы, ольхи, осины и др.) и для твердолиственных пород порослевого происхождения класс возраста устанавливается равным 10 годам; для хвойных и твердолиственных пород семенного происхождения (бука, дуба, клена, ясеня и др.) – 20 годам; для наиболее быстрорастущих пород (тополей, ив и др.) и кустарников (бересклетов, лоха, скумпии и т. д.) – 5 годам.

В развитии леса различают ряд возрастных групп (периодов) – молодняки, жердняки, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные насаждения. Молодняками называют насаждения I класса возраста, т. е. мягколиственные и твердолиственные порослевые в возрасте до 10 лет, хвойные и твердолиственные семенные – до 20 лет. Жердняком называются насаждения II класса, т. е. соответственно с возрастными периодами от 11 до 20 и от 21 до 40 лет. Средневозрастными считаются насаждения, сохраняющие интенсивный рост и имеющие III класс возраста (соответственно 21-30 и 41-60 лет). Приспевающими являются насаждения IV класса возраста, которые замедлили рост и приблизились к спелости (31-40 лет и 61-80 лет). Спелыми считают древостой, закончившие рост и пригодные для рубки (41-50 и выше; 81-100 лет и выше). К перестойным относятся отмирающие древостой все зависит от породы и места произрастания (свыше 60 лет; свыше 120 лет). По происхождению насаждения подразделяются на семенные и вегетативные. Если насаждения произошли естественным путем из семян, их называют семенными,

если они возникли за счет вегетативных органов – вегетативными. Вегетативные насаждения чаще всего бывают порослевыми, которые образуются порослью от пня (дуб, ольха и др.). Они могут образовываться также путем корневых отпрысков (осина, берест и др.) и отводков, т. е. укореняющихся нижних ветвей (пихта, липа). Семенные и вегетативные насаждения часто формируются из деревьев первой величины, т. е. имеющих высоту более 25 м, но семенные насаждения являются более хозяйственно ценными, устойчивыми, долговечными. Вегетативные насаждения имеют характерные отличительные признаки даже при первом взгляде на них: деревья в этих насаждениях обычно имеют групповое (гнездовое) расположение и их стволы часто изогнуты в комлевой части.

Бонитет насаждений – это показатель продуктивности леса. Он обусловлен условиями местопроизрастания (климатом, почвой и т. д.). Этот показатель наглядно проявляется высотой насаждения в соответствующем возрасте. Чем ниже возраст и больше высота насаждения, тем выше его бонитет. Основных классов бонитета пять (I, II, III, IV и V), а дополнительными могут быть 1а и Va, 1б и Vб, 1в и Vб. Бонитеты 1в, 1б, 1а, I, II являются высшими; V, Va, Vб, Vб – низшими; промежуточные – средними. Классы бонитета определяются по таблицам проф. М. М. Орлова по среднему возрасту и средней высоте соответствующей (преобладающей) породы отдельно для семенных и порослевых насаждений.

Тип леса характеризует в целом насаждение и окружающие его условия среды (плодородие почвы, ее влажность, напочвенный покров и т. д.). Для характеристики таежных лесов применяют классификацию типов леса акад. В. Н. Сукачева (например, сосняк-кисличник), а в лесах средней полосы и Украины – шкалу типов леса акад. П. С. Погребняка (например, Аі - сухой бор)[21].

В настоящем исследовании используются следующие таксационные характеристики древостоя:

- состав леса
- площадь выдела

- серия типов леса
- травяной покров
- бонитет
- запас древостоя
- количество и состав подроста

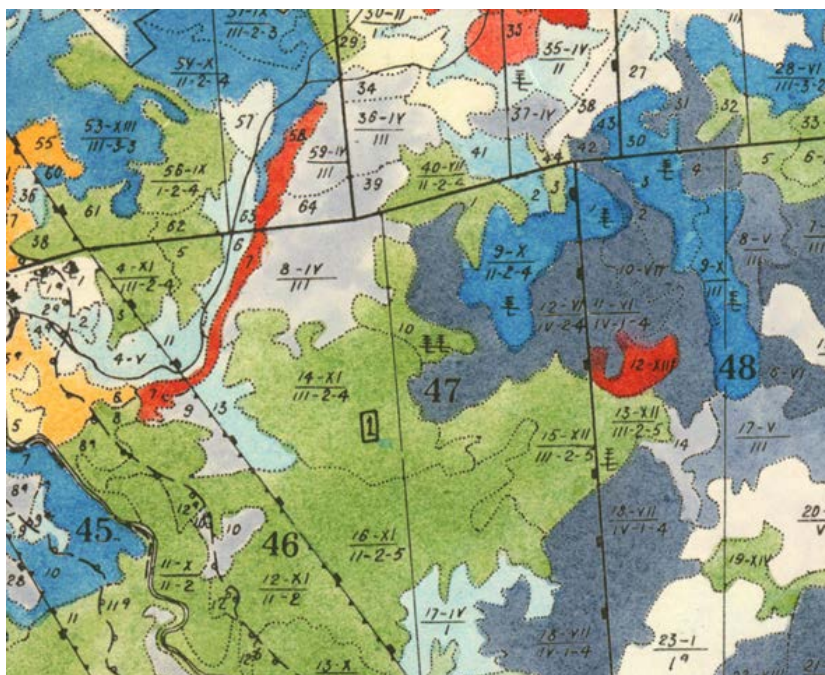


Рисунок 4 – Фрагмент исходного плана лесонасаждений

План лесонасаждений это визуализированные (рисунок 4) в виде карты данные лесоустройства, в т.ч. информация о гидросети, граница участка и др. Формат предоставляемых данных: источник – бумажная карта.

1.5 Обзор программного обеспечения

1.5.1 Easy Trace

Easy Trace является приложением для преобразования растровых изображений в векторные. Это значит что с ее помощью можно преобразовать растровую карту в векторную, под которой понимается набор прямых, кривых, многоугольников, и так далее. Программа позволяет этот процесс производить

как автоматически, так и вручную, полуавтоматически [25]. Выгружается векторная карта в один из общих векторных форматов. Подготавливая цифровые данные средствами Easy Trace, вы можете:

- многократно сократить время подготовки данных, используя специальные инструменты оцифровки и ввода атрибутов;
- собрать полную векторную модель крупного города на одном рабочем месте;
- координировать работу многих операторов, гарантированно собирая результаты оцифровки в единое целое;
- верифицировать полигональное покрытие и цепочно узловую модели данных на всех стадиях оцифровки;
- выполнить атрибутирование всех векторных объектов;
- контролировать достоверность атрибутивных данных средствами тематической прорисовки и визуализации значений атрибутов;
- свести к минимуму время подготовки операторов к работе с Easy Trace за счёт встроенной в пакет системы обучения.

1.5.2 GeoDraw

Назначение профессиональная ГИС с полным базовым спектром функций ГИС, включающим как создание и интеграцию различных карт, планов и растровых изображений, так и функции анализа и конечного пользователя. Области применения геология и недропользование, федеральное и региональное управление, городское хозяйство, экология и природопользование, земле- и лесоустройство, транспорт и связь, коммерция и реклама, геодезия и картография, образование.

1.5.3 ArcGIS

ArcGIS представляет собой профессиональный программный пакет использования геоинформационных систем (ГИС), который позволяет собирать, организовывать, управлять, анализировать, обмениваться и распределять географическую информацию. Являясь мировым лидером среди платформ для построения и использования ГИС. ArcGIS используется людьми по всему миру для применения географических знаний в практической сфере государственного управления, бизнеса, науки, образования и СМИ. Платформа ArcGIS позволяет публиковать географическую информацию для доступа и использования любыми пользователями. Система доступна в любой точке, где возможно использование веб-браузеров, мобильных устройств в виде смартфонов, а также настольных компьютеров. Система ArcGIS позволяет создавать надежную географическую информацию ГИС-сообществом, легко и просто использовать ее любым заинтересованным лицам (а также определять, с кем ею можно обмениваться). Данная система включает в себя программное обеспечение, интерактивную облачную инфраструктуру, профессиональные инструменты, настраиваемые ресурсы, например, шаблоны приложений, готовые к использованию веб и мобильные приложения, готовые к использованию базовые карты, а также надежное содержание, которое распространяется сообществом пользователей. Поддержка серверов и облачных платформ позволяет выполнять совместную обработку и обмен; при этом критическая для планирования и принятия решений информация немедленно становится доступной для всех.

Создавать, обмениваться и использовать интеллектуальные карты - карты предлагают эффективный способ организации, осмысления и передачи огромного количества информации универсальным способом. ArcGIS позволяет вам создавать большое количество карт, включая карты, доступные в веб-браузерах и на мобильных устройствах, крупноформатные печатные карты, карты в отчетах и презентациях, атласы, сборники, карты, используемые в приложениях и т. д. Вне зависимости от способа издания, карта ArcGIS является интерактивной картой, которая отображает, объединяет и синтезирует

значительные слои географической и описательной информации из различных источников.

Компиляция географической информации - ArcGIS позволяет вам синтезировать данные из нескольких источников в один связанный географический вид. К таким источникам данных относится информация из географических баз данных, табличных данных из систем управления базами данных (СУБД) и других систем предприятия, файлов, электронных таблиц, фотографий и видео с географическими метками, KML, CAD данных, данных реального времени с датчиков, аэрокосмических и спутниковых изображений и т. д. Фактически любая запись с географической ссылкой, например, с названием улицы, города, идентификатора земельного участка, GPS координатами и т. д., может быть размещена на карте и к ней может быть получен доступ.

Создавать и управлять базами географических данных - базы географических данных являются сердцем профессиональной работы ГИС. База географических данных позволяет хранить географическую информацию в структурированном виде, что обеспечивает простое управление, обновление, повторное использование и обмен. ArcGIS позволяет вам проектировать, создавать, поддерживать и использовать базы географических данных вне зависимости от того, работаете ли вы в одиночку или в рамках большого предприятия. Базы географических данных — это, как правило, место хранения и управления основных слоев данных, используемых в ГИС — таких как участки, административные границы, инженерные сети, пункты обслуживания, гидрография, рельеф, почвы и т. д. Такие данные с централизованным управлением могут быть оснащены символами, представлены, обработаны и опубликованы неограниченным количеством способов на картах ArcGIS.

Решение задач при помощи пространственного анализа - пространственный анализ является самой интересной и замечательной составляющей ГИС. Целью пространственного анализа является получение новой информации из ваших данных для принятия лучших решений. В то время как присвоение символов вашим данным и просмотр их на карте сами по себе

являются формой анализа, и карты изначально включают интерпретацию шаблонов и отношений, которые они отображают, пространственный анализ делает шаг вперед путем применения географических, статистических и математических операций к нанесенным на карты данным. Система ArcGIS содержит сотни аналитических инструментов и операций, которые могут применяться для решения широкого круга задач: от поиска объектов, соответствующих определенным критериям, до моделирования природных процессов (например, течения воды через территорию) или использования пространственной статистики для определения информации, которую может предоставить набор точек о распределении феномена (например, качества воздуха или характеристик населения).

Создание приложений на основании карт - создание приложений позволяет вам превращать ваши ArcGIS карты, данные, инструменты и опыт в информационные продукты, которые может использовать любой пользователь. Это, в сущности, позволяет вам полноценно реализовать инвестиции в ГИС и предложить ваши карты и функциональность для работы людей в широком круге задач.

Связь и обмен информацией с использованием силы географии и визуализации - обмен информацией и вашей работой является, возможно, самой значимой частью ГИС. Мир хочет видеть ваши карты. Несмотря на то, что люди используют ГИС по множеству причин, можно считать, что ГИС - это мощный инструмент обмена информацией. Независимо от того, кто является вашей целевой аудиторией - общество, планировщики, директора бизнеса, официальные лица, покупатели, студенты или коллеги по работе, - вы сможете воспользоваться ГИС таким образом, чтобы информация стала им доступна и понятна. Система ArcGIS и версия 10.1 позволяет обмениваться информацией и результатами вашей работы, давать людям мощные карты, визуализации и функционал без необходимости быть экспертами в ГИС [24].

2 Создание ГИС Танзыбейского лесничества

2.1 Проектирование ГИС

В настоящее время наиболее эффективно и целесообразно использование географических информационных систем в исследовательских работах, связанных с данными имеющими пространственное распределение. ГИС – это информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, анализ, распространение и визуализацию данных, распределенных как в пространстве, так и во времени. ГИС интегрирует картографическую информацию, таблицы, данные статистики, материалы полевых исследований и прочее в единой цифровой базе географических данных. Использование ГИС – это системный подход в исследованиях. ГИС-анализ представляет собой процесс поиска географических закономерностей в данных и взаимоотношений между пространственными объектами [6]. В данной работе использовались возможности современных геоинформационных систем, позволяющие проводить сложные операции пространственного анализа, операции топологического оверлея, векторизации и построение статистических поверхностей.

Создание цифровой модели территории позволяет проводить разнообразные работы по:

- выявления закономерностей и особенностей, характерных для почвы и растительных организмов, для рельефа и растительности;
- получения различных тематических раскрасок (выбор изображений) в зависимости от задач исследования для визуального анализа;
- создания карт распределения загрязнителей по анализам проб снега, почвы, лишайников, хвои, по которым оценивается техногенная нагрузка, в сравнении с контрольными показателями из экологически благополучных мест;

— иллюстрации тематических подборок исследовательских материалов фотографиями с соответствующей привязкой к местности.

Качественные и/или количественных оценки влияния рельефа на растительный покров получены с использованием геоинформационного анализа по цифровой модели территории Танзыбейского лесничества. В качестве исходных данных были использованы материалы лесоустройства Танзыбейского лесничества, проведенного в 1970 г. (планы лесонасаждений М 1:50 000, 148 тыс.га), данные радарной съемки SRTM.

При создании цифровой модели территории были использованы технологии, включающие четыре последовательных этапа:

1. сканирование (аналого-цифровое преобразование бумажных источников в растровый формат);
2. проектирование векторной карты лесоустройства в соответствии с источником данных;
3. векторизация слоев и заполнение атрибутивных таблиц по данным таксационного описания;
4. привязка векторных слоев к географической системе координат.

Технологии преобразования графических документов, полученных путем оцифровки традиционных источников – бумажных носителей, в векторную форму в настоящий момент являются весьма востребованными. Под векторной формой понимается модель (структура) данных, представляющая собой упорядоченный набор слоев объектов, которые моделируются точками, ломаными либо многоугольниками, расположенными на плоскости или сфере с заданной системой координат. Это связано с развитием систем автоматизированного проектирования, которые способны интерпретировать векторный формат, а также с существенными преимуществами векторной формы по сравнению с растровым представлением: простота манипуляций и

управления, необходимость в меньшем объеме памяти и др. Процесс преобразования изображений из растровой в векторную форму называется векторизацией.

2.2 Векторизация и привязка проекта

Цифровые изображения (карты, схемы и т.п.) являются основными источниками данных в ГИС-проектах. Объекты, изображаемые на картах, чаще всего представляются в математических моделях графами, а в ГИС – векторной моделью данных [33]. Векторные модели исторически связаны с устройствами цифрования карт (векторными устройствами ввода) – дигитайзерами или с ручным обводом объектов. Векторное представление или векторная модель данных – цифровое представление точечных, линейных и полигональных объектов в виде набора координатных пар. Модели векторного представления различаются на топологическое и нетопологическое. Нетопологическое представление характеризуется набором координатных пар с описанием только геометрии объектов, а топологическое представление учитывает не только геометрию объектов, но и их топологическое отношение. В картографии принципиально работают с топологическими пространствами, поскольку изображение лежит в топологическом пространстве. Топология – изучает свойства геометрических фигур, не меняющиеся при взаимно однозначных и взаимно непрерывных отображениях. Такие отображения называются топологическими [34].

Топологические модели в ГИС задаются совокупностью следующих характеристик:

- взаимосвязанность векторных объектов при хранении
- информация о взаимном расположении районов и об узлах пересечения их контуров вносится в БД
- типы пересечений (Т-образное и Х-образное)

— показатель пространственной близости линейных или полигональных объектов.

Топологические характеристики линейных объектов могут быть представлены визуально с помощью связанных графов. Граф сохраняет структуру модели со всеми узлами и пересечениями. Он напоминает карту с искаженным масштабом. Топологические характеристики полигональных объектов могут быть представлены с помощью графов покрытия и смежности. Ребра графа покрытия описывают границы между районами, а его узлы (вершины) представляют точки смыкания полигонов. Граф смежности это как бы вывернутый на изнанку граф покрытия. В нем районы отображаются узлами (вершинами) а пара смыкающихся районов – ребрами.

Топологические характеристики сопровождаются позиционной и атрибутивной информацией. Вершина графа покрытия может быть дополнена координатными точками, в которых смыкаются соответствующие районы, а ребрам приписывают левосторонние и правосторонние идентификаторы.

Одной из разновидностей векторно-топологического представления пространственных объектов является линейно-узловая модель. Именно эта модель наиболее часто применяется в векторных топологических ГИС. Линейно-узловое представление – векторная модель, описывающая не только геометрию пространственных объектов, но и топологические отношения между узлами, дугами и полигонами. Именно эта модель позволяет описывать контурные объекты в виде множества трех элементов: узлов, дуг и собственно полигонов.

Принимая во внимание векторно-топологическое представление объектов, следующим этапом для создания ГИС, является проведения оцифровки (векторизации). Подходы к векторизации сканированной карты можно разделить на три группы. При ручной векторизации оператор обводит линии и контуры картографических объектов по растровой подложке (по трудоемкости этот способ эквивалентен дигитайзерной векторизации и позволяет векторизовать в среднем 1-2 объекта в минуту). При полуавтоматической (интерактивной) векторизации используется программы, в которых оператор устанавливает

стартовую точку линейного сегмента, и далее программа автоматически трассирует линию до её окончания или разветвления. Дальнейшее направление трассировки программа получает из диалога с оператором. При автоматической векторизации программа автоматически преобразует в векторы все объекты растровой карты заданного класса, оставляя оператору лишь окончательное редактирование и коррекцию ошибок в полученном векторном слое. Однако на практике из-за низкого качества исходных материалов автоматические векторизаторы часто выдают высокий процент ошибок, необходимость ручного исправления которых снижает эффект от автоматизации процесса векторизации. В связи с тем, ручной способ самый точный и исходный растр является цветным изображением, было принято решение проводить оцифровку методом ручной векторизации.

Технология преобразования бумажной карты в электронную происходит по следующей схеме:

- 1) сканирование бумажных лесохозяйственных планов
- 2) отдельные участки отсканированного лесохозяйственного плана сшивались в единый план в программе Adobe Photoshop 8. Использовались, в основном, функции перемещения и поворота фрагментов изображения.
- 3) векторизация плана лесонасаждений
- 4) привязка к географическим координатам

Работа по векторизации слоев на основе отсканированных планах лесонасаждений проводилась в программном пакете Easy Trace, в результате которой были получены следующие векторные слои: речная сеть, квартальная сеть, выделы, дорожная сеть. Цифровая модель рельефа была построена по данным радарной съемки SRTM. Так как исходные данные не имели привязки к географической системе координат, привязка осуществлялась методом резинового листа по опорным точкам, в качестве которых брались характерные изгибы рек, их устья и т.д.

Для проекта были использованы инструментальные средства ГИС GeoDraw и GeoGraph, разработанные в Институте географии РАН. Easy Trace векторный топологический редактор для создания цифровых карт. GeoGraph ГИС для уровня конечного пользователя, дает возможность создавать электронные карты (атласы) как композиции картографических слоев.

Привязка проекта и верификация привязки к географическим координатам осуществлялись в программном пакете ESRI ArcGIS и проводились по топографической карте местности (М1:200000), а уточнение привязки по цифровой модели рельефа территории (высота сечения рельефа 20м), путем наложения слоя речной сети на рельеф и на космоснимок Landsat [5].

2.3 Ввод атрибутивной информации

Сущности реального мира в пространственно-распределенных базах данных представлены пространственными объектами, с которыми связаны атрибутивные данные. Современные ГИС представляют пространственное распределение сущностей в виде объектов: точек, линий, ломаных, путей, площадей, поверхностей. Атрибуты содержат пространственную и непространственную информацию о сущностях и связаны с пространственными объектами.

Атрибут – свойство, качественный или количественный признак, характеризующий пространственный объект (но не связанный с его местоуказанием) и ассоциированный с его уникальным номером, или идентификатором. Наборы значений атрибутов обычно представляются в форме таблиц средствами реляционных СУБД. Классу атрибута при этом соответствует имя колонки, или столбца или поля таблицы. Данные в ГИС обычно разделяются на пространственную и непространственную составляющие. Различие между этими данными не является четким в силу наличия тесной взаимосвязи между ними.

По материалам лесоустройства 1970 г. Танзыбейского лесничества проводимого при участии Института леса АН СССР, на 7000 выделов из таксационных описаний были оцифрованы с бумажных носителей 27 основных показателей. Выдел, являясь наименьшей пространственной единицей, содержит большой набор данных характеризующих специфику растительного покрова и рельефа.

Таблица 1 – Пример атрибутивных данных векторного слоя «выделы»

п.н.	характеристика выдела	тип данных	пример
1	Номер квартала	Text	127
2	Номер выдела	Text	4а
3	Площадь выдела	Double	23
4	Дополнительная информация	Text	Особо-защитный участок
5	Формула состава древостоя	Text	5К5П
6	Высота	Double	16
7	Возраст подроста	Double	300
8	Бонитет	Text	V
9	Тип местообитания	Double	42
10	Формация	Text	Кедровник
11	Серия тип леса	Text	субальпийская зеленомошно- разнотравная
12	Тип леса	Text	Кедровник зеленомошно- разнотравный
13	Полнота	Short	0,9
14	Состав подроста	Text	10П
15	Высота и количество подроста в тыс. на 1 га	Text	2м/2
16	Подлесок	Text	спирея, рододендрон
17	Почвы	Text	суглинистая
18	Тип увлажнения	Text	свежая
19	Экспозиция	Text	северо-восток
20	Крутизна	Double	20
21	Ягоды	Text	черника
22	Ягоды %	Double	10
23	Состав второго яруса	Text	10П
24	Высота второго яруса	Double	14
25	Полнота	Short	0,3
26	ВПК	Text	Черневой
27	Запас	Double	150

Атрибутивные данные остальных векторных слоев характеризуются гораздо меньшим объемом данных: в слое гидросеть – название рек и озер, в слое квартальная сеть - номера кварталов, в слое населенные пункты – названия поселков.

2.4 Построение статистических поверхностей

Модели поверхности, в отличие от плоских пространственных объектов (точки, линии и полигоны), являются трехмерными, т.к. трехмерный объект определяется не только плановыми x, y , но и аппликатай z , т.е. тройкой координат. [ГИС, томск 2003]. Наиболее популярный способ регулярного задания цифровых моделей поверхности – это представление значений полей на регулярной сетке прямоугольников, когда в ее узлах заданы значения показателя. На английском языке регулярная сетка прямоугольников называется GRID поэтому этот способ представления рельефов называется гридом. Регулярная сетка – это цифровая модель поверхности, в основу которой положена сеть точек, каждой из которых сопоставлено значение уровня поля в этой точке, причем точки расположены в определенной регулярной форме и задан способ вычисления значений уровней между узлами сетки.

В данной работе использованы данные радарной топографической съемки (SRTM). Данные распространяются в нескольких вариантах - сетка с размером ячейки 1 угловая секунда (~30 метров) и 3 угловые секунды (~90 метров). Файлы данных представляют собой матрицу из 1201 x 1201 (или 3601 x 3601 для односекундной версии) значений, которая может быть импортирована в различные программы построения карт и геоинформационные системы.

На основе цифровой модели рельефа были рассчитаны крутизна склонов и ориентация склонов по сторонам света (рисунок 5). Анализ влияния сторон света на растительность проводился по экспозициям: С, С-З, С-В, В, З, Ю-В, Ю-З, Ю.

Экспозиция указывает направление склона по сторонам света. Экспозиция измеряется в градусах против часовой стрелки от 0 (направление на север) до 360 (опять на север), сделав полный круг. Плоские участки не имеют направления, и им присваивается значение -1.

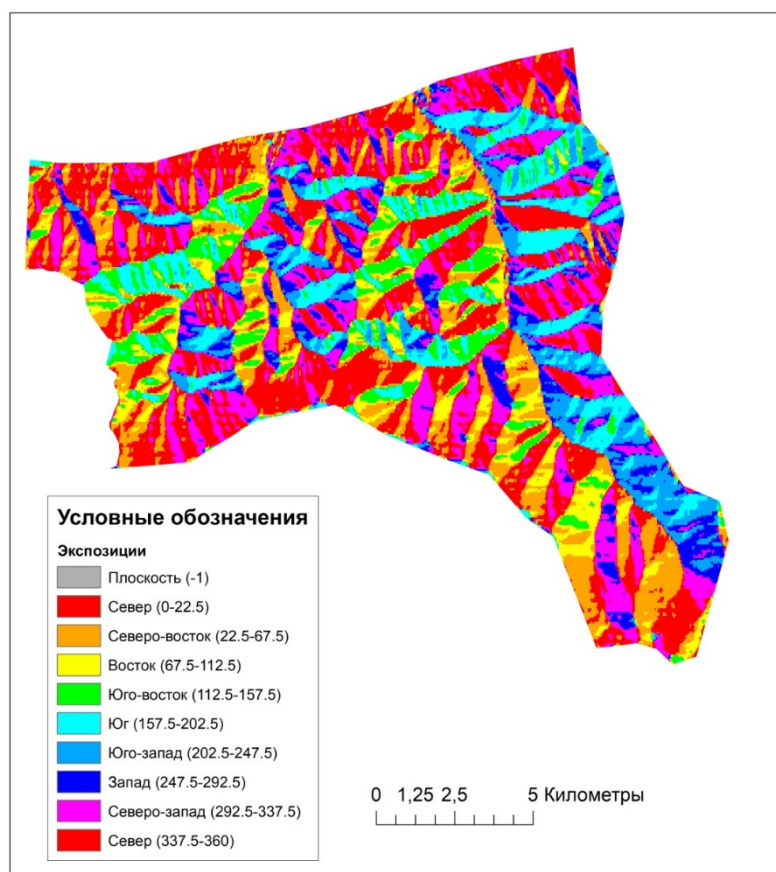


Рисунок 5– Экспозиции рельефа

При классификации ЦМР по крутизне принята следующая шкала градаций: слабопогие (0° - 5°), пологие и слабопокатые (5° - 10°), покатые (10° - 15°), сильнопокатые (15° - 20°), крутые (20° - 30°), очень крутые (30° - 40°). Уклон вычисляет максимальную скорость изменения значения между соседними ячейками, например, максимальный угол наклона земной поверхности (максимальное изменение значения высоты от ячейки к восьми соседним)

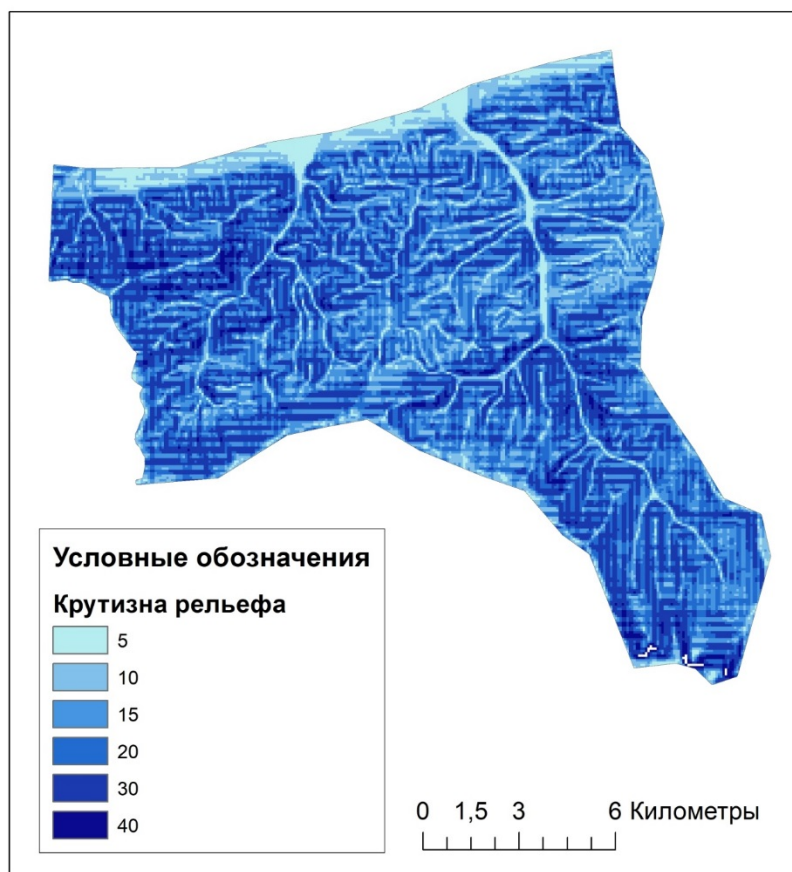


Рисунок 6 – Уклоны рельефа

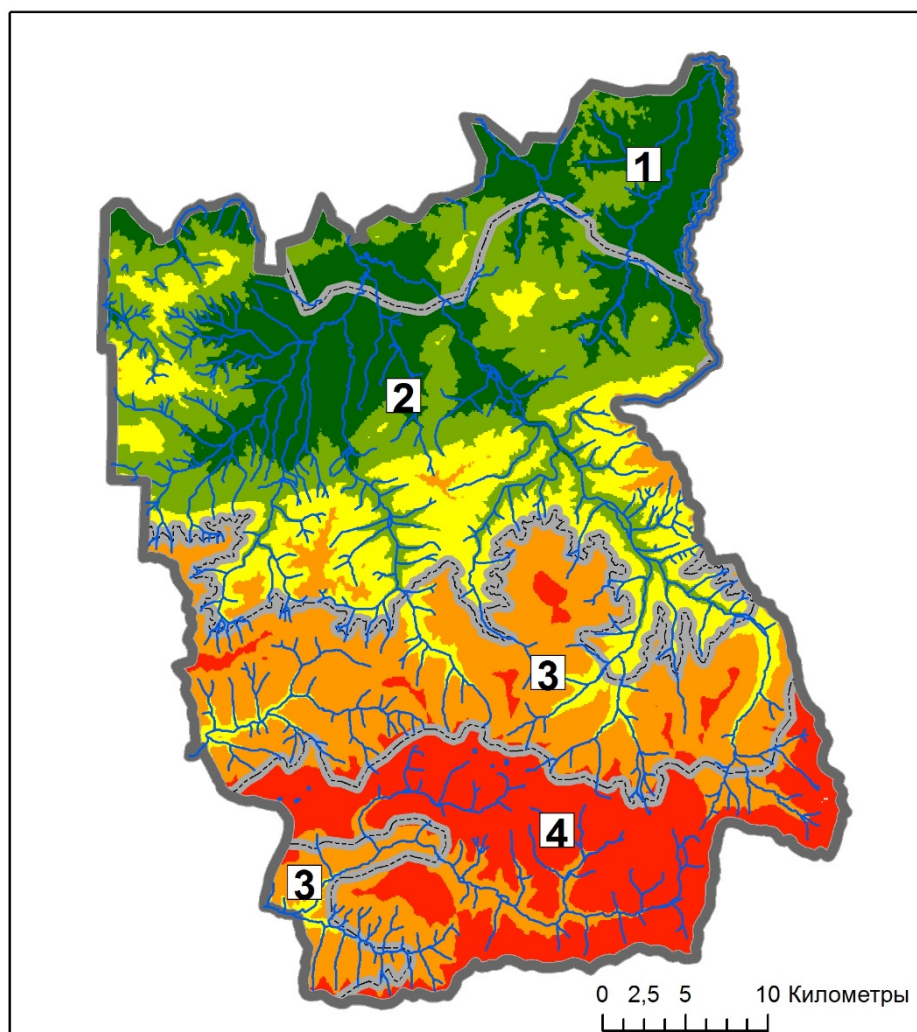
2.5 Выделение границ ВПК

На основе данных цифровой модели территории Танзыбейского лесничества (148 тыс. га) и базы данных о состоянии лесов определены границы высотно-поясных комплексов (ВПК) для северного макросклона Кулумысского хребта, в интервале высот от 350 до 1700 м. над ур.м. Природная специфика этого района отражена в серии [15,16,20] поэтому здесь отметим лишь ее основные особенности, наиболее наглядно проявляющиеся в типологической структуре лесов. Это господство типов леса крупнотравно-папоротниковых, папоротниково-вейниковых и травяно-зеленомошных серий, высокая влажность климата в течение всего года, отсутствие пожаров и промерзания почв, способствующие сохранению реликтов неморальной флоры, разновозрастный характер лесов, пока еще сохранивших свой девственный облик на склонах, не

тронутых вырубкой. Подобным горным ландшафтам наветренных склонов Алтае-Саянской области было присвоено имя «ландшафты барьерного подножия» [8], или «барьерно-дождевые ландшафты». Эти названия точно отражают генетическую связь ландшафтов наветренных склонов хребтов с циркуляционными процессами, происходящими при резком подъеме воздушных масс на передовые цепи горных хребтов (рис. 1). Соотношение тепла и влаги определяет смену высотных ландшафтных поясов, которую можно фиксировать по смене высотно-поясных комплексов (ВПК). В каждом из высотных поясов существуют специфические закономерности распределения растительности и почв по мезорельефу.

Алгоритм выделения и обрисовки границ ВПК учитывал следующие критерии: состав коренных и условно коренных формаций, серий типов леса, отражающих структуру и состав экобиоморф нижних ярусов; размещение формаций и серий типов леса в мезорельефе. Учитывая, что состав коренных формаций остается практически неизменным (пихта и кедр преобладают на высотах от 350 до 1300 м), авторы ориентировались на диагностику ВПК с помощью серий типов леса, выделяемых по составу нижних ярусов сообществ, и на абсолютную высоту [16].

После тематической обработки данных созданы серии аналитических карт растительного покрова модельной территории [1]. Впервые получено пространственное отображение высотно-поясного спектра территории, включающего в себя фрагмент подтаежного, черневой, горно-таежный и субальпийский (подгольцово-субальпийский) пояса (рис. 7).



Условные обозначения

— Гидросеть	Шкалы высот в метрах
— граница Танзыбейского участкового лесничества	325-425
1 Подтаежный ВПК	425-585
2 Черновой ВПК	585-845
3 Горно-таежный ВПК	845-1300
4 Субальпийский ВПК	1300-1975

Рисунок 7 – ВПК на территории Танзыбейского участкового лесничества

Предложенный алгоритм может послужить основой при создании карт высотно-поясного распределения растительности в барьерно-дождевых ландшафтах Саян, а также для проведения границ лесохозяйственных районов.

3 Геоинформационный анализ влияние характеристик рельефа на возобновление кедра сибирского

3.1 По всему бассейну р. Малый Кебеж

Первый шаг в выявлении распределении рельефом составов древостоя и подроста кедра сибирского, это выделение в пределах исследуемой территории однородных по биоклиматическим показателям региональных уровней организации растительного покрова. Для горных территорий, такими единицами являются ВПК [16]. Поэтому первым этапом послужило выделение на исследуемой территории ВПК. Эти региональные высотные комплексы в условия горных ландшафтов отвечают первому уровню иерархии в перераспределении рельефом прихода тепла и влаги. В результате геоинформационного анализа, бассейн р. М. Кебежа оказался в пределах двух ВПК – черневой и горно-таежный. Таким образом, 60 % территории бассейна относятся к черневому поясу и 40% к горно-таежному поясу.

Таблица 2 – Распределение составов по бассейну М. Кебежа

Состав древостоя/ВПК	Всего в га.	%
Лиственные	971,8	5
Пихтарники	5229	26
1-2 К в составе	6388	32
3-4 К в составе	2546	13
5-6 К в составе	1822	9
7-8 К в составе	1116	6
9-10 К в составе	1865,8	9
Всего	19938,6	100

Анализ пространственной структуры составов древостоя и подроста кедра сибирского проводился с помощью статистических методов анализа. Составы древостоя были предварительно группированы в 7 классов: 1) лиственные

насаждения (осинники и березняки), 2) пихтарники, 3) пихтарники с присутствием в составе древостоя кедров 1-2 единицы, 4) пихтарники с присутствием в составе древостоя кедров 3-4 единицы, 5) смешанные темно-хвойные леса с присутствием в составе древостоя кедров 5-6 единиц, 6) кедровники с присутствием в составе древостоя кедров 7-8 единиц, 7) кедровники с присутствием в составе древостоя кедров 9 или 10 единиц (таблица 1).

Таким образом, были получены достаточно детальные группировки составов лесов бассейна р.М.Кебег. В итоге при разделении лесов на ВПК и составы получилось следующее распределение: чистые по составу кедровые древостои в черневом ВПК занимают 11 % от доли ВПК, а в горно-таежном поясе уже 6 % от доли ВПК или почти в 3 раза меньше от площади в черневом. А при не большой примеси пихты, кедровники в черневом поясе занимают 18% или 2 216 га, а в горно-таежном доля в два раза меньше (9 %) или площадь в 3 раза меньше (766 га), чем в черневом.

Чистые пихтарники занимают равную долю в двух поясах – 26 %, но при не большой примеси кедров в составе, доля таких лесов с 53% в черневом увеличивается до 66 % в горно-таежном поясе.

Таблица 3 – Распределение составов леса по ВПК

Состав древостоя/ВПК	Черневой	%	Горно-таежный	%	Всего
Лиственные	967	8	5	0,1	972
Пихтарники	3 122	26	2 107	26	5 229
1-2 К в составе	3 238	27	3 150	40	6 388
3-4 К в составе	1 311	11	1 235	16	2 546
5-6 К в составе	1 129	9	693	9	1 822
7-8 К в составе	845	7	271	3	1 116
9-10 К в составе	1 371	11	495	6	1 866
Всего	11 983	100	7 956	100	19 939

Таким образом, наглядно показано, что площади и доли чистых по составу кедровников или с небольшой примесью пихты заметно снижаются с увеличением высоты.

С кедровым подростом, таблица распределения по ВПК выглядит несколько иначе, а именно общая площадь благонадежного подроста в пределах бассейна р. М. Кебежа было выявлено 170 га, при этом, под пологом леса 160 га кедрового подроста, выявлено в черневом поясе, тогда как в горно-таежном всего 10 га. Практически полное отсутствие кедрового подроста на более высоких по высоте таежных лесах говорит о действии лимитирующих факторов.

Таблица 4 – Распределение подроста по ВПК

Площадь кедрового подроста	в черневом ВПК в га.	в горно-таежном ВПК в га	всего
	160,7	10	171

Учитывая расположение района исследования в избыточно-влажных климатических условиях с показателями 950-1500 мм осадков в год, при этом с высотой количество осадков увеличивается вследствие барьерного эффекта гор. Обратную зависимость с высотой демонстрируют данные о приходе солнечного тепла, а именно годовая сумма температур в горно-таежном ВПК в среднем в два раза меньше температуры в черневом ВПК

Таблица 5 – Характеристика высотно-растительных поясов по климатическим фациям (секторам).

ВПК	Абс. высота, м	Годовая сумма $t > 10^{\circ} \text{C}$	Годовые осадки
Черневой	350-900	1100-1800	950-1250
Горно-таежный	800-1300	550-1300	1200-1500

Известно, что кедр сибирский наиболее требователен к теплу а не к влаге [16], поэтому можно сделать вывод, что отсутствие благонадежного кедрового подроста в горно-таежном поясе говорит о лимитирующей роли тепла на рост

кедрового подроста. В связи с тем, что количество подроста в горно-таежном ВПК составляет 10 га, поэтому в дальнейшем анализе данные не будут использоваться.

3.2.Распределение составов леса по экспозициям рельефа

3.2.1 Черневом ВПК

Матрица распределения составов леса в черневом поясе, показывает, представленность всех выделенных групп составов на каждой экспозиции черневого пояса.

Таблица 6 – Распределение площадей по экспозициям в га.

Группа составов\ Экспозиции	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Лиственные	216	128	90	100	95	59	89	190
Пихтарники	766	355	284	417	532	186	181	401
1-2 К в составе	1023	373	142	284	494	298	198	426
3-4 К в составе	411	227	109	109	86	70	108	191
5-6 К в составе	308	87	55	118	118	92	127	224
7-8 К в составе	337	84	27	39	33	50	102	173
9-10 К в составе	397	77	26	42	201	161	133	334
Всего	3458	1331	733	1109	1559	916	938	1939

Таблица 7 – Распределение площадей по экспозициям в доле от площади экспозиции

Группа составов\ Экспозиции	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Лиственные	6	10	12	9	6	6	9	10
Пихтарники	22	27	39	38	34	20	19	21
1-2 К в составе	30	28	19	26	32	33	21	22
3-4 К в составе	12	17	15	10	6	8	12	10

5-6 К в составе	9	7	8	11	8	10	14	12
7-8 К в составе	10	6	4	4	2	5	11	9
9-10 К в составе	11	6	4	4	13	18	14	17
Всего	100	100	100	100	100	100	100	100

Представленная таблица 5 распределения площадей по экспозициям слишком дробная, поэтому мы решили объединить близкие по экологии составы лесов и сравнить объединения.

Таблица 8 – Распределение кедровников и пихтарников по экспозициям в долях от всей площади рельефа экспозиции.

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Кедровники (7-10 К)	21	12	7	7	15	23	25	26
Пихтарники (8-10 П)	52	55	58	63	66	53	40	43

Распределение долей кедровников по экспозициям в черневом поясе (таблица 6), показывает, что кедровники преобладают на западных и северной экспозиции, т.е. доли представленных экспозиций заняты чистыми кедровниками от 20 и до 26 %, а на восточных экспозициях, что наглядно демонстрирует рисунок 8 распределения.



Рисунок 8 – Распределение кедровников и пихтарников по экспозициям в долях от всей площади рельефа экспозиции.

У пихтарников же наблюдается обратное от кедровников распределение, а именно на западных экспозициях, и в особенности на З и СЗ пихтарники занимают лишь 40 и 43% соответственно от площади экспозиции, хотя на остальных экспозициях средняя доля равна 60%. Несколько по иному выглядит диаграмма распределения кедровников и пихтарников если за 100 % взять площадь всех кедровников и пихтарников и для наглядности добавить такое-же распределение долей рельефа.

Таблица 9 – Распределение кедровников, пихтарников и рельефа по экспозициям в долях от общей площади

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Кедровники (7-10 К)	33	7	2	4	11	10	11	23	100
Пихтарники (8-10 П)	29	12	7	11	14	7	6	13	100
Рельеф	29	11	6	9	13	8	8	16	100

При такой интерпретации распределения можно увидеть, что пихтарники практически равномерно распределяются по рельефу, например на северной

экспозиции доля рельефа от всего рельефа составляет 29%, а на юге 13%, так и пихтарники на севере занимают 29% от всех пихтарников, а на юге составляют 14% от всех пихтарников. Таким образом, очевидно, что пихтарники практически в равной пропорции с рельефом представлены на каждой экспозиции рельефа в пределах черневого ВПК. Несколько иное, но схожее распределение по рельефу наблюдается у кедровников.

Поэтому для оценки зависимости распределения от параметров рельефа, решено использовать параметрический метод статистики Пирсона, который позволяет определить, тесноту (или силу) корреляционной связи между двумя показателями, измеренными в количественной шкале. При помощи дополнительных расчетов можно также определить, насколько статистически значима выявленная связь. В результате расчетов критическое значение критерия равно 4,03, а так как рассчитанные значения у кедровников равно 6,15 и у пихтарников 11,2 больше чем критического значения (4,03), следовательно связь является статистически значимой.

Коэффициент корреляции

Пирсона с рельефом

Кедровники	0,93
------------	------

Пихтарники	0,98
------------	------

В результате расчетов, выявлено, что у кедровников, что у пихтарников коэффициент корреляции Пирсона больше 0,9 что говорит о том что значения площадей кедровников и пихтарников имеют очень высокую корреляцию с рельефом. Следовательно при все разнообразии экспозиций, рельеф не оказывает влияние на распределение кедровников и пихтарников по экспозициям в черневой тайге.

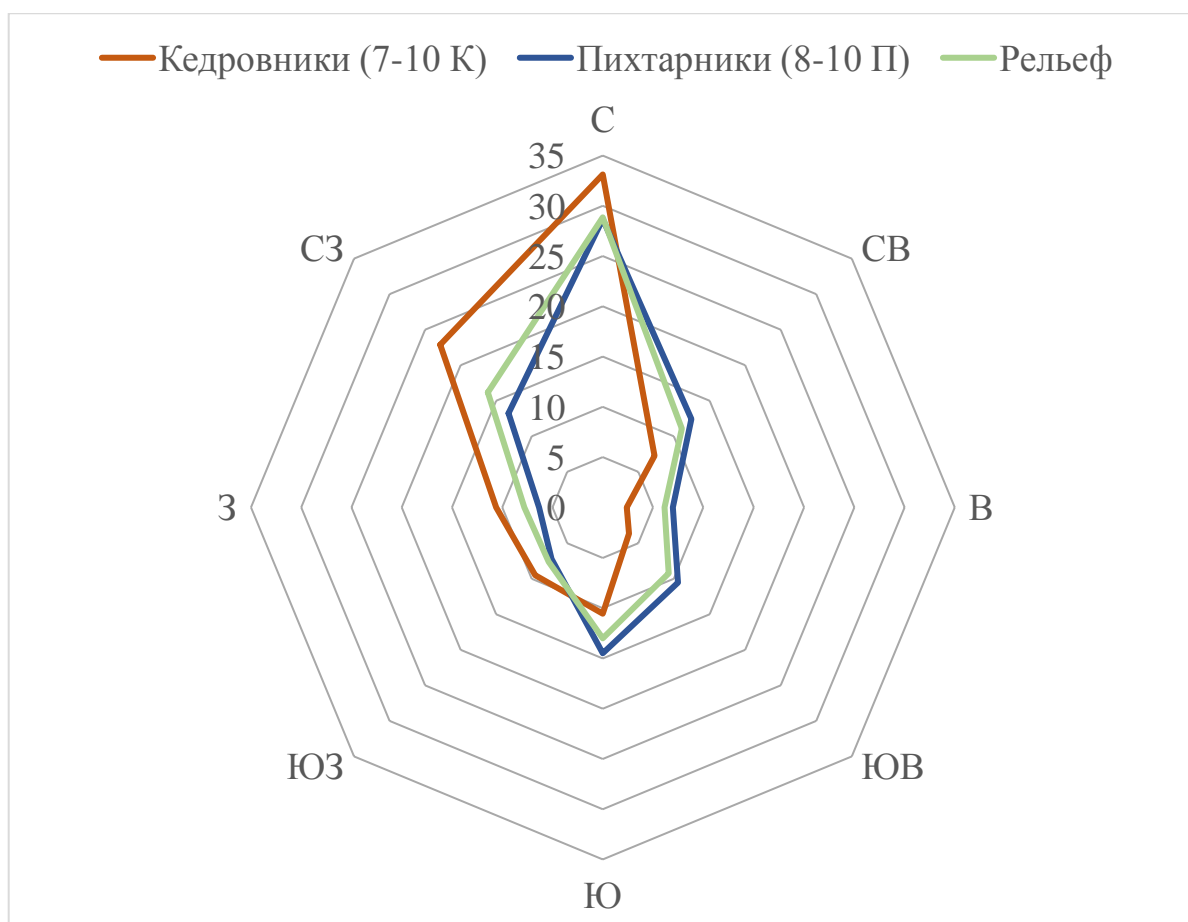


Рисунок 9 – Распределение кедровников, пихтарников и рельефа в черневом ВПК по экспозициям в долях от общей площади

3.2.2. В горно-таежном ВПК

В горно-таежном ВПК группы составов представлены на всех экспозициях.

Таблица 10 – Распределение площадей по экспозициям в га.

Группа составов\ Экспозиции	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Пихтарники	607	537	306	175	157	88	57	180
1-2 К в составе	841	486	232	169	302	360	242	518
3-4 К в составе	325	211	125	71	30	48	125	300
5-6 К в составе	255	55	43	36	20	81	72	131
7-8 К в составе	10	4	10	27	84	83	35	18
9-10 К в составе	138	74	26	0,8	10	74	50	122

Всего	2176	1367	742	479	603	734	581	1269	7951
-------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

Таблица 11 – Распределение площадей по экспозициям в доле от площади экспозиции

Группа составов\ Экспозиции	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Пихтарники	28	39	41	37	26	12	10	14
1-2 К в составе	39	36	31	35	50	49	42	41
3-4 К в составе	15	15	17	15	5	7	22	24
5-6 К в составе	12	4	6	8	3	11	12	10
7-8 К в составе	0,5	0,3	1	6	14	11	6	1
9-10 К в составе	6	5	4	0,2	2	10	9	10
Доля	100	100	100	100	100	100	100	100

Представленная таблица 11 распределения площадей по экспозициям слишком дробная, поэтому мы решили объединить близкие по экологии составы лесов и сравнить объединения.

Распределение долей кедровников по экспозициям показывает схожее распределение с черневым ВПК, но с новыми акцентами. Так доля кедровников все также около 20% занимает западные склоны, южный склон как и в черневом на 16% занят кедрочами, но на северных склонах, где доля в черневых была около 20 %, в горной тайге доля упала до 7 %.

Таблица 12 – Распределение кедровников и пихтарников по экспозициям в долях от всей площади рельефа экспозиции.

Группа составов\ Экспозиции	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Кедровники (7-10 К)	7	6	5	6	16	21	15	11
Пихтарники (8-10 П)	67	75	73	72	76	61	51	55



Рисунок 10 – Распределение кедровников и пихтарников по экспозициям в долях от всей площади рельефа экспозиции

Из рисунка 10 видно, что кедровников стало гораздо меньше в целом, и составляет 756 га (7-10 К), что составляет около 10% от площади высотного пояса, что является почти в 2 раза меньше, чем в черневом поясе (18,5%). Но если сравнить распределение долей составов темнохвойных лесов не от площади экспозиции, а от всей своей площади, то можно на рисунке 11 увидеть следующее распределение.

Таблица 13 – Распределение кедровников, пихтарников и рельефа по экспозициям в долях от общей площади.

Группа составов\ Экспозиции	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Кедровники (7-10 К)	19	10	5	4	12	21	11	18	100
Пихтарники (8-10 П)	28	19	10	7	9	9	6	13	100
Рельеф	27	17	9	6	8	9	7	16	100

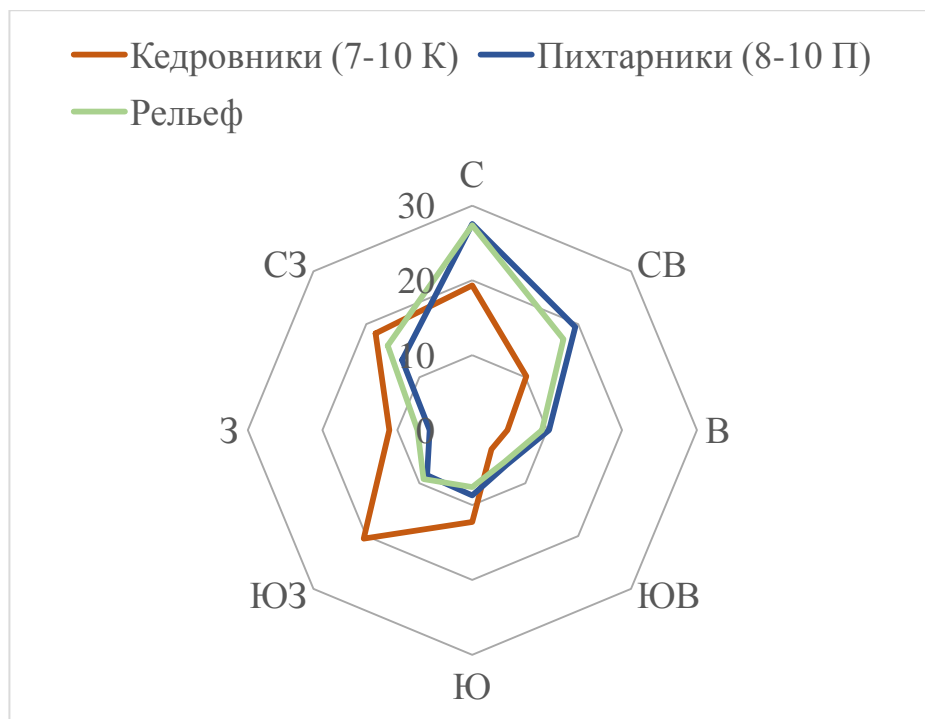


Рисунок 11 – Распределение кедровников, пихтарников и рельефа по экспозициям в долях от общей площади.

Так на рисунке 11 распределения по экспозициям, кедровники описывают немного иную линию, чем в черневом ВПК, а именно 44 % кедровников представлена на Ю, ЮЗ и З экспозициях, а в черневом было 30%. На С и СЗ было в черневом 56% всех кедровников, а стало в горном поясе 38%. Хотя распределение пихтарников также согласуется с распределением рельефа. Расчет статистической значимости показал, что у кедровников значение равно 1,54 а у пихтарников 11,2, следовательно связь кедровников с рельефом в горной тайге статистически не значима. Поэтому и коэффициент корреляции с рельефом у кедровников показывает слабую силу. Что говорит о том, что на рост и развитие кедровников возможно действуют другие лимитирующие условия, например тепло.

Коэффициент корреляции

Пирсона с рельефом

Кедровники 0,53

Пихтарники 0,98

3.3 Распределение составов леса по крутизне рельефа

3.3.1 В Черневом ВПК

Высокую расчлененность рельефа в бассейне М. Кебежа наглядно демонстрируют значения в таблице 14 распределений рельефа по крутизне. Так покатые (10° - 15°), сильнопокатые (15° - 20°) и крутые (20° - 30°) склоны занимают в бассейне 76% всей территории.

Таблица 14 – Распределение составов леса и рельефа по крутизне

Группа составов/крутизна	0-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	
Лиственные	219	343	389	359	346	15	
Пихтарники	131	354	650	644	608	32	
1-2 К в составе	235	597	863	732	776	36	
3-4 К в составе	87	172	305	349	387	11	
5-6 К в составе	36	126	307	321	327	15	
7-8 К в составе	28	113	261	236	208	1,5	
9-10 К в составе	70	278	435	344	234	9	
Всего по рельефу	806	1983	3210	2985	2886	119,5	11990
Доля рельефа	7	17	27	25	24	1	100

Рисунок 12 распределения показывает, что кедровники в среднем на каждом элементе крутизны рельефа занимают от 10 до 20 % от доли склона, пихтарники в свою очередь занимают от 45 до 56 % от доли склона.

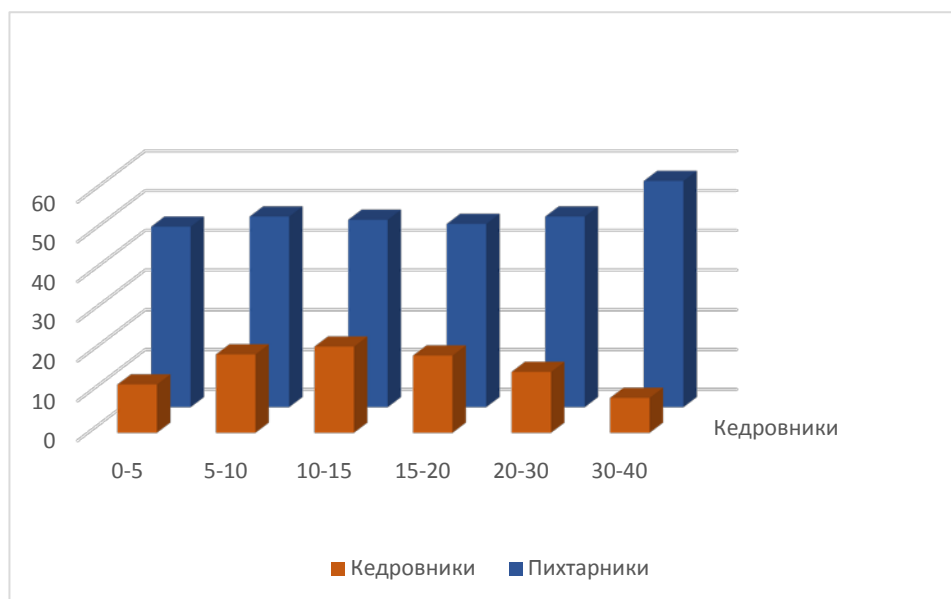


Рисунок 12 – Распределение кедровников и пихтарников по крутизне в долях

Сравнение распределений формаций в долях по крутизне с рельефом на рисунке 13 показывает, что кедровники и пихтарники на каждом элементе крутизны распределяются равномерно, например, доля рельефа на покатых (10° - 15°) соответствует 27% от всех склонов, так и доли кедровников и пихтарников на этой крутизне имеют значения 27 % и 31% соответственно. Расчет коэффициента корреляции Пирсона составов с рельефом дает значение 0,97 для кедровников и 1,0 для пихтарников.

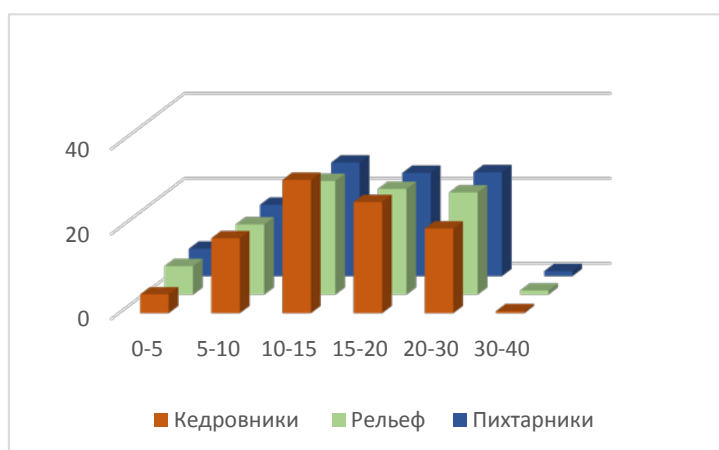


Рисунок 13 – Долевое распределение по экспозициям склонов кедровников, пихтарников и рельефа в черневом ВПК

3.3.2 В горно-таежном ВПК

В горно-таежном поясе рельеф показывает еще более высокую расчлененность в сравнении с черневым поясом и наглядно демонстрирует в таблице 12 значения распределений рельефа по крутизне. Так покатые (10° - 15°), сильнопокатые (15° - 20°) и крутые (20° - 30°) склоны занимают в горном поясе 88% всей территории.

Таблица 15 – Распределение площадей в гектарах составов леса и рельефа по крутизне

Группа составов/крутизна	0-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	
Пихтарники	32	197	489	596	737	56	
1-2 К в составе	50	270	782	938	1023	87	
3-4 К в составе	8	78	268	344	516	31	
5-6 К в составе	10	47	195	205	232	6	
7-8 К в составе	4	21	73	77	96	4	
9-10 К в составе	22	44	112	135	182	1	
Всего по рельефу	126	657	1919	2295	2786	185	7968
Доля рельефа	2	8	24	29	35	2	100

Расчет коэффициента корреляции кедровников и пихтарников с рельефом выводит как для пихтарников, так и для кедровников значение 1,0. Результат расчета говорит о том, что в условиях горно-таежного высотного пояса чистые составы древостоев соответствуют весьма высокой тесноте связи с крутизной. Из чего можно сделать вывод, что анализируемые составы древостоев равномерно распределяются по элементам крутизны рельефа и разнообразие уклонов рельефа никак не распределяют кедровники и пихтарники.

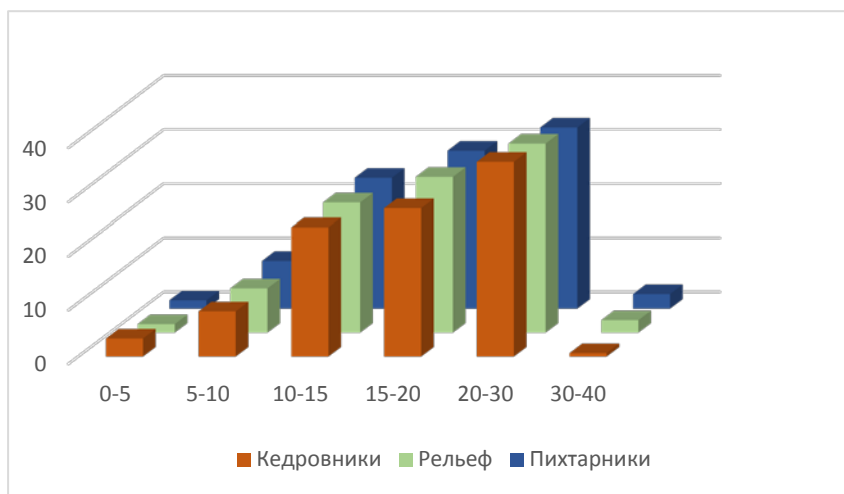


Рисунок 14 – Долевое распределение по экспозициям склонов кедровников, пихтарников и рельефа в черневом ВПК

3.4 Анализ распределения кедрового подроста по крутизне и экспозиции

Общая площадь благонадежного подроста в пределах бассейна р. М. Кебежа была выявлена на территории в 170 га, при этом, под пологом леса 160 га кедрового подроста, выявлено в черневом поясе, тогда как в горно-таежном всего 10 га. Поэтому анализ распределения подроста по экспозиции и крутизне проводился в пределах черневого пояса.

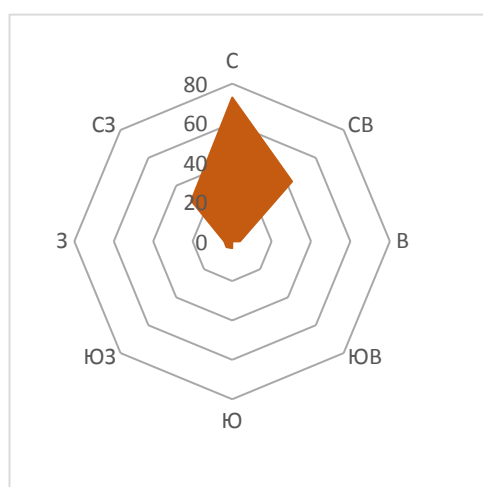


Рисунок 15 – Распределение площадей по экспозициям склонов кедрового подроста в черневом ВПК.

Из рисунка 15 видно, что 90% подроста занимают теневые северные склоны. Вероятнее всего на северных склонах формируется более комфортный для подроста микроклимат. Распределение подроста по крутизне в целом равномерное (рисунок 15).

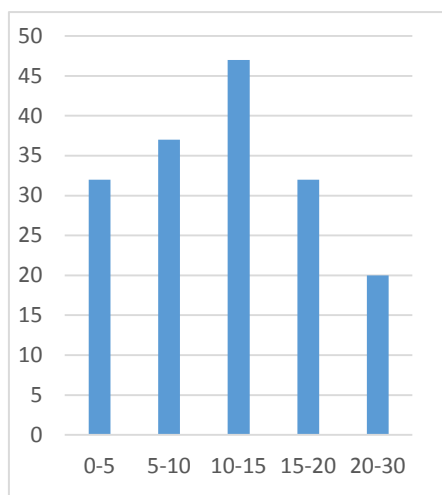


Рисунок 16 – Распределение площадей по крутизне склонов кедрового подроста в черневом ВПК.

Возобновление кедра сибирского по лесоводственным данным в целом крайне неудовлетворительное из-за развития широколиственных и папоротниковых растительных сообществ.

Результаты

Обзор исследований по тематике работы показал, что исследователи системы «рельеф-растительность» используя данные о рельефе и растительности получают корреляционные зависимости фитоструктур с типами рельефа. Определяя иерархию распределения растительности в следующем порядке: высота местности, экспозиция и крутизна. При исследованиях в горных условиях исследователи отмечают необходимость учитывания высотных зон (ВПК), т.к. что каждый ВПК занимает в климатическом пространстве свою нишу, определяя тем самым иерархию распределения рельефом абиотических показателей на растительный покров.

Для достижения целей и задач, в данном исследовании были использованы авторские данные ГИС на исследуемую территорию. Соблюдение технологии преобразования бумажной карты в электронную с последующим процессом привязки плана географическим координатам, в том числе уточнение привязки по ЦМР и космоснимку Landsat, позволяет проводить исследования с достаточной степенью точности.

ГИС Танзыбейского лесничества содержит выделенный оцифрованные план лесоустройства с атрибутивными данными таксационных описаний количественных и качественных характеристик древесного и растительного покрова. Созданная цифровая модель территории позволяет проводить разнообразные работы по:

- выявления закономерностей и особенностей, характерных для почвы и растительных организмов, для рельефа и растительности;
- получения различных тематических раскрасок (выбор изображений) в зависимости от задач исследования для визуального анализа;
- создания карт распределения загрязнителей по анализам проб снега, почвы, лишайников, хвои, по которым оценивается

- техногенная нагрузка, в сравнении с контрольными показателями из экологически благополучных мест;
- иллюстрации тематических подборок исследовательских материалов фотографиями с соответствующей привязкой к местности.

Построение статистических поверхностей рельефа на основе данных SRTM с пространственным разрешением 30 на 30 метров, позволяет проводить исследования с рельефом с достаточной высокой степенью детализации. Использование многолетних исследований в Западном Саяне в области типологии лесов и биоразнообразия растительного покрова, позволило впервые провести детальное выделения ВПК с использованием массовых данных лесоустройства, реализованных в данную ГИС Танзыбейского лесничества. Созданная ГИС служит источником для разноплановых исследований, таких как:

- Создание банка данных по разнообразию флоры и растительности черневых лесов Западного Саяна
- Дифференциация низкогорных лесов Саян по составу и продуктивности в зависимости от рельефа.
- Дифференциация возобновления кедра на высотном профиле в бассейне р. Малый Кебеж
- Сохранение черневых пихтово-кедровых лесов западного саяна: современные риски и пути решения проблемы
- Высотно-поясная зональность древесных пород в горных условиях саян: модель экологических фазовых переходов второго рода
- Выделение потенциальных местообитаний видов растений с использованием гис
- Принцип универсальности при использовании моделей фазовых переходов второго рода для описания сукцессионных процессов в лесу

— Фитоценотические факторы устойчивости черневых кедровников в
Западном Саяне

В рамках текущего исследования была поставлена цель о выявлении влияния рельефа на распределение составов и подроста кедра сибирского. В качестве объекта исследования был выбран часть бассейна р. М. Кебежа из-за не высокой антропогенной нарушенности на период преведения лесоустройства на данную территорию (1971г.). За основу анализа были использованы сгруппированные составы древостоев и подроста. Первым этапом послужило выделение на исследуемой территории ВПК. В результате геоинформационного анализа, бассейн р. М. Кебежа оказался в пределах двух ВПК – черневой и горно-таежный. Таким образом, 60 % территории бассейна относятся к черневому поясу и 40% к горно-таежному поясу. Анализ пространственной структуры составов древостоя и подроста кедра сибирского проводился с помощью статистических методов анализа. Последующим шагом в исследовании служил анализ влияния экспозиции и крутизны склонов в пределах каждого ВПК. В результате расчетов, выявлено, что у кедровников, что у пихтарников коэффициент корреляции с рельефом больше 0,9, что говорит о том что значения площадей кедровников и пихтарников имеют очень высокую корреляцию с рельефом. Следовательно при всем разнообразии экспозиций, рельеф не оказывает влияние на распределение кедровников и пихтарников по экспозициям в черневой тайге. А в горно-таежном ВПК коэффициент корреляции кедровников с рельефом показал статистически не значимую связь, поэтому и коэффициент корреляции с рельефом у кедровников показывает слабую силу. Что говорит о том, что возможно на рост и развитие кедровников действуют иные лимитирующие факторы, например, тепло, т.к. пространственное распределение кедровников сместилось к теплым южным и юго-западным склонам.

Крутизна рельефа как в черневом так и горно-таежном поясах показывает высокий коэффициент корреляции как у кедровников, так и у пихтарников. Из

чего можно сделать вывод, что анализируемые составы древостоев равномерно распределяются по элементам крутизны рельефа и разнообразие уклонов рельефа никак не влияет на распределение составов кедровников и пихтарников.

Анализ распределения подроста кедра сибирского, показал, что в черневом ВПК подрост не распределяется уклонами рельефа, занимая в среднем по 20% на разных элемента крутизны, от пологих до сильнопокатых. Зато по экспозициям 90% подроста произрастают на теневых, северных склонах. В целом подрост кедра характеризуется неустойчивостью. Полученные результаты доказывают необходимость содействия сохранению ценной популяции кедра в данном регионе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние рельефа на растительный покров в горах связано, главным образом, с изменением высоты над уровнем моря и экспозиции склонов. В своих работах Синицын отмечал [4], что в оптимальных почвенно-климатических условиях экспозиция склонов не имеет значения. Созданная ГИС для территории Танзыбейского участкового лесничества позволила провести на основе данных SRTM сравнительную оценку распределения составов лесов по крутизне и экспозициям в разных ВПК. Так в черневом ВПК, экспозиция и крутизна не определяет распределение составов кедровников. С увеличением абсолютной высоты, в горно-таежном ВПК крутизна рельефа также, как в черневом поясе не дифференцирует составы кедровников. Зато экспозиции рельефа в виду разной теплообеспеченности «смещают» составы кедровников на более теплые южные и юго-западные склоны. В целом подрост кедра характеризуется неустойчивостью и локализуется в основном в нижнем черневом поясе на теневых северных склонах. В слабонарушенных лесных массивах изучение связей лесов с рельефом представляет особый интерес для последующего моделирования естественного потенциального их состояния и оптимизации состава лесов после экзогенных нарушений, таких как рубки, ветровалы, пожары и др. На современном этапе ГИС Танзыбейского лесничества активно применяется в исследованиях растительного покрова для мониторинга биоразнообразия и состояния биоресурсов, в экологическом проектировании и целом ряде задач, связанных с устойчивым лесопользованием и лесопользованием.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

GPS	Global Positioning System — система глобального позиционирования
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission (радарная топографическая съемка)
TIN	Triangular Irregular Networks (нерегулярные триангуляционные сети)
ВПК	высотно-поясной комплекс
ГИС	географическая информационная система
ДДЗЗ	данные дистанционного зондирования земли
ОТЕ	операционно-территориальная единица
ПТК	природно-территориальный комплекс
СУБД	система управления базами данных
ЦМР	цифровая модель рельефа

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бабой С.Д., Гостева А.А., Исмаилова Д.М., Назимова Д.И., Степанов Н.В. Создание банка данных по разнообразию флоры и растительности черневых лесов Западного Саяна. Барнаул, 2009
2. Брижатая А.А. Экологический анализ лесной растительности бассейна реки комаровка. Автореферат
3. Геоинформатика : учеб. пособие / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов, М.О. Говоров, А.В. Заварзин, И.К. Лурье, И.А. Рыльский, Б.Б. Серапинас, А.М. Трофимов, М.Э. Флейс, В.Б. Яровых. – Москва: Академия, 2010. – 400 с
4. Горные леса/Синицын С.Г., Агеенко А.С., Гулисашвили В.З., Калущкий К.К., Коваль И.П. и др.- М.: Лесн. пром-ть, 1979.-200 с.
5. Гостева А.А., Ерунова М.Г., Садовский М.Г. Пространственный анализ природных ресурсов особоохраняемых территорий с использованием ГИС // Совместный выпуск. Вычислительные технологии, т. 9, 2004. Вестник КазНУ, №3 (42), 2004. С. 141-146
6. ДеМерс М.Н. Географические информационные системы. Основы / М.Н. ДеМерс. – Москва: Дата, 1999. – 491с.
7. Ермаков Н.Б., Полякова М.А., Попов Д.Ю., Голомовзин В.В. Моделирование пространственной организации растительности горных территорий на основе данных дистанционного зондирования и цифровой модели рельефа // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12. Специальный выпуск 2: Информационные технологии для эколого-биологических исследований. Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН. С. 42-59.
8. Исаченко А.Г. и др. Ландшафтная карта СССР . М-б 1:4000 000. М. 1988.
9. Капралов, Е.Г. Основы геоинформатики: В 2 кн. Кн. 1: Учеб. пособие для студ. вузов; Под ред. В.С. Тикунова. / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др. – М.: Издательский центр «Академия» – 2004. – 352 с.

- 10.Кофман Г.Б., Коновалова М.Е., Коновалова А.Е., Ерохина З.В. Информационный анализ сопряженности серий типов леса и признаков рельефа на примере ООПТ «Столбы» // Ботан. исслед. в Сибири, вып.18.— Красноярск, 2010.— С. 94-107
- 11.Мурашева Елена Георгиевна автореф. Канд геогр. Наук «Рельеф и пространственная дифференциация ландшафтов (на примере зейско-буреинской равнины)» Иркутск 2010
- 12.Назимова Д.И., Молокова Н.И., Джансеитов К.К. Высотная поясность и климат в горах южной сибери. География и природные ресурсы 1981 г. №2. С.68-79.
- 13.Основы геоинформатики: В 2 кн. Кн. 1: Учеб. пособие для студ. вузов / Е.Г.Капралов, А.В.Кошкарёв, В.С.Тикунов и др.; Под ред. В.С.Тикунова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 352 е.
- 14.Основы лесной биогеоценологии. Ред. В.Н. Сукачева, Н.В. Дылиса, из-во «Наука», М.:1964 г., 574 с.
- 15.Поликарпов Н.П. Горные кедровые леса Сибири и научные основы лесоводственных мероприятий в них. — Красноярск: кн. изд-во, 1966. 36 с.
- 16.Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М., Назимова Д.И. Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 225 с.
- 17.Поляков В. И. Черневые кедровники Западного Саяна / отв. ред. д-р с.-х. наук, проф. В. А. Соколов; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние, Ин-т леса им. В. Н. Сукачева. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 181 с.
- 18.С. Гланц Медико-биологическая статистика. Пер. с англ. - М., Практика, 1998. - 459с.
- 19.Садовнича Е.А. Радиационный режим горных лесов Сибири. - Новосибирск: Наука, 1985. - 126 с.
- 20.Садовнича Е.А., Чебакова Н.М. Радиационные факторы высотно-поясной зональности Западного Саяна. Стационарные лесоводственные исследования в Сибири. Красноярск, 1978, С. 6-18.

21. Семечкин И.В. Особенности таксации древостоев в связи с типами возрастной структуры. Тр. ИЛИД, т. 66. «Организация лесного хозяйства и инвентаризация лесов», вып. 2, М.: Изд-во АН СССР, 1963.
22. Степанов Н.В. Флора северо-востока Западного Саяна и острова Отдыха на Енисее (г. Красноярск) / Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 2006. 170 с.
23. Тропина Е.Ф. Об использовании морфологических свойств почв в экосистемных исследованиях на примере ГПЗ «Столбы» Конф. Улан-Уде 2007
24. Что такое ArcMap [Электронный ресурс] <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/main/map/what-is-arcmap-.htm>.
25. Что такое Easy Trace [Электронный ресурс] <http://easytrace.ru>
26. Пузаченко Михаил Юрьевич автореф. Дисс. Геогр. Наук «Мультифункциональный ландшафтный анализ юго-запада Валдайской возвышенности» Москва 2009
27. Ризаев Игорь Геннадьевич геоморфологические аспекты исследования растительного покрова на основе лазерной альтиметрии (на примере западного кавказа). Специальность 25.00.25 – геоморфология и эволюционная география, Краснодар – 2010
28. Черниковский Д.М., Алексеев А.С. Влияние формы поверхности рельефа на структуру и продуктивность лесных ландшафтов (на примере заповедника Верхне-Тазовский Ямало-Ненецкий АО). Лесоведение, 2003, № 5. С. 10-17.
29. Получение данных SRTM [Электронный ресурс] https://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/
30. Выбор и загрузка космоснимков Landsat [Электронный ресурс] <https://glovis.usgs.gov/>
31. Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Серапинас Б.Б., Филиппов Ю.А. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. – М.: ГИС-Ассоциация, 1999. – 204 с.
32. Гурьянова Л.В. Введение в ГИС. - Мн.: БГУ, 2008.- 135 с.

- 33.Ананьев Ю.С. Геоинформационные системы. Учеб. Пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. – 70 с.
34. Зейферт Г., Трельфалль В. Топология. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001, 448 стр.
- 35.Общая геоморфология: учебник. - 3-е изд., перераб. и доп. / Г.И. Рычагов. - М.: Изд-во Моск. ун-та: Наука, 2006. -416 с.